

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Dernière mise à jour : 28/06/2012

RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : JEAN-MARC.BRIGNON@INERIS.FR

REDACTEUR DE LA FICHE

A. GOUZY : AURELIEN.GOUZY@INERIS.FR

Veillez citer ce document de la manière suivante :
INERIS, 2011. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Les polyChloroBiphenyles (PCB), DRC-11-118962-11081A, 89 p.
(<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>)

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

SOMMAIRE

1	GENERALITES	3
1.1	DEFINITION ET CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES	3
1.2	RÉGLEMENTATIONS	6
1.3	VALEURS ET NORMES APPLIQUEES EN FRANCE	11
1.4	AUTRES TEXTES.....	14
1.5	CLASSIFICATION ET ÉTIQUETAGE.....	15
2	PRODUCTION ET UTILISATIONS	20
2.1	PRODUCTION ET VENTE	20
2.2	SECTEURS D'UTILISATION	23
3	REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT.....	26
3.1	EMISSIONS NON-ANTHROPIQUES.....	29
3.2	EMISSIONS ANTHROPIQUES TOTALES	29
3.3	EMISSIONS ATMOSPHERIQUES	31
3.4	EMISSIONS VERS LES EAUX	36
3.5	EMISSIONS VERS LES SOLS	41
3.6	EMISSIONS DUES AUX USAGES.....	48
3.7	POLLUTIONS HISTORIQUES	48
3.8	FACTEURS D'EMISSIONS.....	49
4	DEVENIR ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT	51
4.1	COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT	51
4.2	PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT	55
5	PERSPECTIVES DE RÉDUCTION DES EMISSIONS	66
5.1	BILAN DU PLAN NATIONAL DE DECONTAMINATION ET D'ELIMINATION DES APPAREILS CONTENANT DES PCB/PCT ET TRAITEMENT DES DECHETS	66
5.2	REDUCTION DES EMISSIONS EN STATIONS D'EPURATION.....	73
5.3	PROCEDES DE DECONTAMINATION DE SITES POLLUES EN PCB	73
6	CONCLUSION	84
7	LISTE DES ABREVIATIONS	85
8	BIBLIOGRAPHIE.....	87

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

1 GENERALITES

1.1 DEFINITION ET CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés aromatiques organochlorés dérivés du biphényle, synthétisés sous forme de mélanges, de formule chimique $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$ (avec $1 \leq n \leq 10$). Ils forment une famille de composés ayant la même structure chimique (chaque noyau phényle pouvant comporter jusqu'à 5 atomes de chlore en substitution des atomes d'hydrogène). Il existe donc, 10 degrés de chloration allant du monochloro-biphényle au décachloro-biphényle (Dargnat et Fisson, 2010 ; PIREN Seine, 2009). Selon le nombre et la position des atomes de chlore, il existe en théorie 209 congénères. Chaque PCB est ainsi usuellement défini par un numéro entre 1 et 209, selon la nomenclature IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). En réalité, les contraintes thermodynamiques, le processus chimique de la réaction de chloration du radical biphényle et les contraintes de configurations spatiales, permettent la synthèse d'environ 150 congénères différents (Meunier, 2008).

La Figure 1 ci-dessous présente la structure chimique des PCB (INRS, 2007).

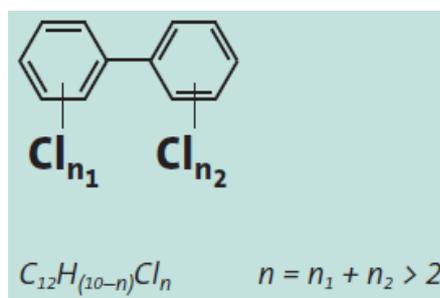


Figure 1. Structure chimique des PCB (INRS, 2007).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Les 209 congénères de PCB sont répartis selon 2 catégories (PCB de type dioxine (PCB dioxine-like- PCB-DL) et les autres PCB (PCB Non dioxin Like- PCB-NDL)) établies en prenant en compte uniquement les effets tératogènes¹ des PCB. Les PCB de type dioxine ont une configuration plane, très comparable aux dioxines. Parmi ceux-ci, 12 sont considérés comme les plus toxiques pour la santé (4 ortho : 77, 81, 126 et 169 ; et 8 non-ortho : 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167 et 189). Néanmoins, ils sont les moins abondants dans les mélanges industriels comme dans les matrices environnementales (PIREN Seine, 2009).

En 1982, 7 PCB (PCB indicateurs) parmi les 209 congénères ont été sélectionnés par le Bureau Communautaire de Référence de la Commission Européenne (Bruxelles) comme étant les composés à rechercher en priorité dans les analyses de matrices organiques (sédiment, sang, chair, graisse) du fait de leur persistance et de leur abondance dans l'environnement ainsi que de leurs propriétés toxicologiques (Dargnat et Fisson, 2010). Les « PCB indicateurs » représentent près de 80 % des PCB totaux : le plus souvent les 118, 138, 153 et 180 mais aussi les 28, 52 et 101 (tous sauf le PCB 118 sont des PCB-NDL) (INRS, 2007).

Le Tableau 1 ci-après présente les PCB de type dioxine ainsi que les « PCB indicateurs » (Dargnat et Fisson, 2010).

¹ Le terme tératogène désigne une substance ou un procédé qui provoque des malformations fœtales lorsque la mère est exposée.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 1. Les PCB type dioxine et les PCB indicateurs (Dargnat et Fisson, 2010).

Structure	Substance	Congénères	N° CAS ¹	N° EINECS ²
-	Polychlorobiphényles	209 PCB	1336-36-3	215-648-1
PCB-Dioxin Like				
non-ortho PCB	3,3',4,4'-tetrachlorobiphényle	PCB77		
non-ortho PCB	3,4,4',5-tetrachlorobiphényle	PCB81		
mono-ortho PCB	2,3,3',4,4'-pentachlorobiphényle	PCB105		
mono-ortho PCB	2,3,4,4',5-pentachlorobiphényle	PCB114		
mono-ortho PCB	2,3',4,4',5-pentachlorobiphényle	PCB118 ³	31508-00-6	-
mono-ortho PCB	2',3,4,4',5-pentachlorobiphényle	PCB123		
non-ortho PCB	3,3',4,4',5-pentachlorobiphényle	PCB126		
mono-ortho PCB	2,3,3',4,4',5-hexachlorobiphényle	PCB156		
mono-ortho PCB	2,3,3',4,4',5'-hexachlorobiphényle	PCB157		
mono-ortho PCB	2,3',4,4',5,5'-hexachlorobiphényle	PCB167		
non-ortho PCB	3,3',4,4',5,5'-hexachlorobiphényle	PCB169		
mono-ortho PCB	2,3,3',4,4',5,5'-heptachlorobiphényle	PCB189		
PCB indicateurs				
mono-ortho PCB	2,4,4'-trichlorobiphényle	PCB28	7012-37-5	230-293-2
di-ortho PCB	2,2',5,5'-tétrachlorobiphényle	PCB52	35693-99-3	-
di-ortho PCB	2,2',4,5,5'-pentachlorobiphényle	PCB101	37680-73-2	-
di-ortho PCB	2,2',3,4,4',5-hexachlorobiphényle	PCB138	35065-28-2	-
di-ortho PCB	2,2',4,4',5,5'-hexachlorobiphényle	PCB153	35065-27-1	-
di-ortho PCB	2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphényle	PCB180	35065-29-3	-

¹ n° CAS : Chemical Abstract Service number (numéro d'enregistrement unique)

² n° EINECS : numéro d'enregistrement d'une substance chimique dans l'Inventaire Européen des Substances chimiques Commerciales Existantes (EINECS)

³ le PCB118 est aussi un PCBi

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Les formulations commerciales de PCB correspondaient à des mélanges complexes de certaines catégories d'isomères, la variation du taux de chlore permettant d'obtenir des propriétés physiques particulières. Le pourcentage de chlore peut varier de 21 à 68 % en poids, les qualités les plus répandues contenant approximativement (INRS, 2007) :

- 42 % de chlore soit en moyenne 3 atomes de chlore par molécule ;
- 54 % de chlore, soit en moyenne 5 atomes de chlore par molécule ;
- 60 % de chlore, soit en moyenne 6 atomes de chlore par molécule.

Les formulations les plus courantes avaient pour nom commercial « Pyralène » ou « Aroclor ».

Les « Aroclors » les plus répandus sont (Agence de l'eau Seine-Normandie, 2009) :

- PCB 1242 - n° CAS : 53469-21-9 ;
- PCB 1248 - n° CAS : 12672-29-6 ;
- PCB 1254 - n° CAS : 11097-69-1 ;
- PCB 1260 - n° CAS : 11096-82-5.

1.2 RÉGLEMENTATIONS

Les principaux textes réglementaires concernant les PCB sont présentés ci-après.

1.2.1 TEXTES GÉNÉRAUX

- [Réglementation Française](#)

L'arrêté du 8 juillet 1975 modifié par l'arrêté du 29 novembre 1984 interdit l'utilisation des PCB dans les applications ouvertes (encres, adhésifs, additifs dans certaines huiles...). Néanmoins, ce texte autorisait encore leur usage dans certains systèmes clos permettant leur récupération (transformateurs et condensateurs électriques).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Le décret n°87-59 du 2 février 1987 relatif à la mise sur le marché, à l'utilisation et à l'élimination des polychlorobiphényles (PCB) et polychloroterphényles (PCT²) interdit la vente, l'acquisition ou la mise sur le marché des appareils contenant des PCB ou des produits en refermant à plus de 0,005 % en poids (transformateurs et condensateurs).

L'arrêté du 9 septembre 1987 relatif à l'utilisation des polychlorobiphényles et des polychloroterphényles indique que tout appareil visé par l'article 4(1°)³ du décret du 2 février 1987 doit comporter une étiquette avec la mention suivante : « cet appareil contient des PCB qui pourraient contaminer l'environnement et dont l'élimination est réglementée ».

Le Décret n°2001-63 du 18 janvier 2001 modifiant le décret n°87-59 du 2 février 1987 relatif à la mise sur le marché, à l'utilisation et à l'élimination des polychlorobiphényles et polychloroterphényles indique notamment que tout détenteur d'un appareil contenant un volume supérieur à 5 dm³ de PCB est tenu d'en faire une déclaration au préfet du département où se trouve l'appareil avant le 25 avril 2001. Ce décret soumet également à agrément de l'administration toute activité de traitement, soit de destruction des molécules de PCB, de décontamination des appareils, objets, fluides ou matériaux contenant des PCB, soit de substitution du fluide PCB ou de régénération des fluides PCB.

Sur la base de ces déclarations, un inventaire national est constitué pour assurer le suivi de l'évolution du parc des appareils. L'arrêté du 26 février 2003 approuve le plan national de décontamination et d'élimination des appareils contenant des PCB et PCT. Ce plan s'est basé sur l'inventaire réalisé et sur certaines priorités comme les zones recevant du public.

La réglementation spécifique aux déchets est détaillée ci-après (paragraphe 1.2.4)

² Les Polychloroterphényles (PCT) sont également un groupe d'hydrocarbures halogénés. Par leur structure chimique, ils sont très proches des PCB mais comportent trois cycles phényle au lieu de deux. Les PCB et PCT ont des propriétés chimiques et physiques semblables. Après leur apparition dans les années 1950, les PCT se sont avérés rapidement nocifs pour l'environnement et pour l'homme. Fabriqués en quantités beaucoup plus faibles que les PCB, les PCT ont reçu des noms commerciaux identiques ou similaires (Aroclor, Clophen Harz, Cloresil, Electrophenyl T-50 et T60, Kanechlor KC-C, Leromoll, Phenoclor, Pydraul). Certains étaient utilisés pour le même type d'applications que les PCB, mais la plupart étaient utilisés dans des cires, plastiques, fluides hydrauliques, peintures et lubrifiants. Les PCT ont été produits aux Etats-Unis, en France, en Allemagne, en Italie et au Japon jusqu'au début des années 1980, période de cessation de toute production. La production mondiale cumulée est estimée à 60 000 tonnes entre 1955 et 1980 (Dargnat *et al.*, 2010).

³ Appareils électriques en système clos, tels que transformateurs, résistances et inductances; Condensateurs de poids total supérieur ou égal à 1 kg; Condensateurs de poids total inférieur à 1 kg, à condition que les PCB contenus aient une teneur moyenne en chlore inférieure à 43 p. 100 et renferment moins de 3,5 p. 100 de pentachlorobiphényles ou de biphényles plus fortement chlorés ; Systèmes caloporteurs, sauf dans les installations destinées au traitement des denrées pour alimentation humaine ou animale ou à la préparation de produits pharmaceutiques ou vétérinaires ; Systèmes hydrauliques pour l'équipement souterrain des mines.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- Réglementation Européenne

Au niveau européen, plusieurs directives ont été édictées afin de limiter la mise sur le marché et de définir les modalités d'élimination des PCB.

Le Conseil de l'Union Européenne a adopté la **directive 96/59/CE du 16 septembre 1996** concernant l'élimination des PCB et PCT. Tous les appareils contenant des PCB doivent être mis hors service d'ici la fin de l'année 2010. Cette directive abroge la directive 76/403/CE du 06 avril 1976 ainsi que la directive 76/769/CE du 27 juillet 1976, modifiée par la directive 85/467/CE du 01 octobre 1985, concernant la limitation de la mise sur le marché des PCB et des appareils en contenant.

Le **règlement (CE) n° 199/2006 de la commission du 3 février 2006 modifiant le règlement (CE) n° 466/2001** porte sur la fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, en ce qui concerne les dioxines et les PCB de type dioxine.

Le **règlement (CE) n° 596/2009** du parlement européen et du conseil du 18 juin 2009 porte sur l'adaptation à la décision 1999/468/CE du Conseil de certains actes soumis à la procédure visée à l'article 251 du traité, en ce qui concerne la procédure de réglementation avec contrôle et modifie l'article 10 de la directive 96/56/CE (article concernant les méthodes de mesure, les normes techniques...).

Le 24 octobre 2001, l'Union Européenne a adopté une stratégie pour limiter la présence de dioxines, de furanes et de PCB dans l'environnement afin de protéger la santé humaine et animale et l'environnement (**Communication de la Commission, du 24 octobre 2001**, au Conseil, au Parlement européen et au comité économique et social. Stratégie communautaire concernant les dioxines, les furannes et les polychlorobiphényles). Les trois objectifs principaux de la stratégie sont:

- évaluer l'état actuel de l'environnement et de l'écosystème ;
- réduire à court terme l'exposition humaine à ces substances et la maintenir à moyen et long terme à des niveaux inoffensifs ;
- réduire les effets sur l'environnement.

Les 7PCBi sont classés comme perturbateurs endocriniens avérés (catégorie 1) par l'Union Européenne, avec un degré d'exposition considéré comme très préoccupant en particulier pour les enfants allaités maternellement considérés comme une population à risque (Cf. Stratégie communautaire concernant les perturbateurs endocriniens⁴).

⁴ http://ec.europa.eu/environment/endocrine/strategy/substances_en.htm

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- Réglementation Internationale

L'OCDE a adopté le 12 février 1973 une décision recommandant de cantonner l'usage des PCB aux systèmes clos pour les pays membres (**Décision du Conseil concernant la protection de l'environnement par un contrôle des diphenyles polychlorés, C(73)1/Final**).

En 1987, l'OCDE a adopté une décision interdisant toute utilisation nouvelle de PCB à compter du 1^{er} janvier 1989 (**Décision-Recommandation du Conseil concernant de nouvelles mesures de protection de l'environnement par un contrôle des diphenyles polychlorés, C(87)2/final**).

La **décision PARCOM 92/3** de la Commission OSPAR⁵ en 1992 porte sur l'abandon des PCB et des succédanés dangereux des PCB. Les 7 PCB indicateurs font partie de la liste OSPAR en tant que substances devant faire l'objet de mesures prioritaires.

1.2.2 SEUILS DE REJETS POUR LES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES

La nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement contient une rubrique 1180, consacrée aux PCB.

L'**arrêté du 02 février 1998** relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation fixe des valeurs limites d'émission (VLE) dans les rejets industriels pour PCB + PCT à 0,05 mg/L (moyenne mensuelle) et 0,1 mg/L (moyenne journalière) si le rejet dépasse 0,5 g/j.

1.2.3 LABEL ECOLOGIQUE

Sans objet.

1.2.4 REGLEMENTATION AYANT ATTRAIT AUX DECHETS

Comme indiqués précédemment, les décrets n°87-59 du 2 février 1987 et n°2001-63 du 18 janvier 2001 modifiant le décret n°87-59 concernent également les déchets contenant des PCB.

⁵ OSPAR : Oslo-Paris. OSPAR est le mécanisme par lequel quinze gouvernements des côtes et îles occidentales d'Europe, avec la Communauté européenne, coopèrent pour protéger l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

De même, les décisions qui découlent de l'arrêté du 26 février 2003 approuvant le plan national de décontamination et d'élimination des appareils contenant des PCB et PCT sont les suivantes :

- les appareils qui ne respectent pas la norme NF EN 50195 et/ou la norme NF EN 50225, ou qui ne respectent pas l'arrêté 1180 pour les installations classées, doivent être éliminés immédiatement ;
- les transformateurs dont les liquides contiennent entre 50 ppm et 500 ppm en masse de substances sont à éliminer à leur terme d'utilisation ;
- Pour les autres, contenant plus de 500 ppm de PCB, le calendrier d'élimination suivant a été établi (Tableau 2 ci-dessous ; ADEME, 2011).

Tableau 2. Echancier du plan national PCB et PCT (ADEME, 2011).

Date de fabrication de l'appareil	Date à laquelle l'appareil doit être éliminé
Inconnue ou antérieure à 1965	Avant fin juin 2004
Antérieure à 1969	Avant fin décembre 2004
Antérieure à 1974	Avant fin 2006
Antérieure à 1980	Avant fin 2008
Tous les autres appareils	Fin 2010

Les déchets contenant des PCB et PCT sont classés comme déchets dangereux dans la nomenclature des déchets selon les codes suivants les articles R 543-17 à R 543-41 du Code de l'environnement. Ces articles transposent en droit français la directive 96/59/CE concernant l'élimination progressive des PCB et des PCT, au plus tard le 31 décembre 2010 et prévoyant la réalisation d'un plan d'élimination des PCB, à partir d'inventaires constitués sur la base des déclarations des détenteurs d'appareils contenant des PCB. Le Tableau 3 ci-après présente la nomenclature des déchets contenant des PCB et PCT.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 3. Nomenclature des déchets contenant des PCB.

Code activité	Activité	Code déchet	Déchets
13 01	Toute activité	13 01 01*	Huiles hydrauliques contenant des PCB
		13 03 01*	Huiles isolantes et fluides caloporteurs contenant des PCB
16 01	Démontage de véhicules hors d'usage et entretien de véhicules	16 01 09*	Composants contenant des PCB
16 02	Elimination ou démantèlement d'équipements électriques ou électroniques	16 02 09*	Transformateurs et accumulateurs contenant des PCB
		16 02 10*	Equipements mis au rebut contenant des PCB ou contaminés par de telles substances autres que ceux visés à la rubrique 16 02 09*
17 09	Construction et démolition	17 09 02*	Déchets de construction et de démolition contenant des PCB (par exemple, mastics, sols à base de résine, double vitrage, condensateurs contenant des PCB)

* Déchet dangereux

Concernant le traitement des déchets, l'article 10 du décret n°87-59 du 2 février 1987 modifié indique que tout détenteur de déchets contenant des PCB est tenu de les faire traiter soit par une entreprise agréée soit dans une installation qui a obtenu une autorisation dans un autre Etat membre de la Communauté. Ainsi, seule une entreprise de traitement ou de décontamination de déchets contenant des PCB (fixe ou mobile), agréée par arrêté préfectoral et autorisée au titre des ICPE peut assurer l'élimination de ces produits.

1.3 VALEURS ET NORMES APPLIQUEES EN FRANCE

1.3.1 VALEURS UTILISÉES EN MILIEU DE TRAVAIL EN FRANCE

La Circulaire du 13 mai 1987 complétant l'annexe de la circulaire du 19 juillet 1982 relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail donne une valeur limite d'exposition professionnelle (moyenne pondérée sur 8 heures) indicative de 1 mg/m³ pour les PCB (42 % de chlore) et de 0,5 mg/m³ pour les PCB (54 % de chlore) (INRS, 2007 ; INRS, 2008).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

1.3.2 VALEURS UTILISÉES POUR LA POPULATION GÉNÉRALE

L'OMS a fixé une concentration journalière admissible de 3 ng/m³ (WHO, 2000- directive qualité de l'air).

1.3.3 NORME DE QUALITE ENVIRONNEMENTALE

La circulaire du 07 mai 2007 définit les "normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p)" des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau. Cette circulaire fixe également les objectifs nationaux de réduction des émissions de ces substances et modifie la circulaire DCE 2005/12 du 28 juillet 2005 relative à la définition du " bon état ". La NQE provisoire des PCB (dont les PCT) pour les eaux de surface intérieures, de transition, marines intérieures et territoriales est fixée à 0,001 µg/L.

Aucune valeur guide n'a été définie par l'OMS pour l'eau potable (WHO, 2008).

○ Epandage

L'arrêté du 3 juin 1998 modifiant l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées précise que pour la somme des 7 PCB indicateurs, la teneur est fixée à **0,8 mg/kg** poids sec (cas général et épandage sur pâturage). Le flux maximum total cumulé pouvant être appliqué sur un sol au cours d'une période de 10 ans ne doit pas dépasser 12 g/ha pour la somme des 7 PCB indicateurs, soit en moyenne 1,2 g/ha/an.

○ Sédiments

Concernant la qualité des sédiments marins ou estuariens, il existe, au niveau international et au niveau français, une réglementation dans le but d'évaluer le niveau de risque des dragages pour le milieu aquatique. En France, ainsi qu'en Europe, la qualité des sédiments marins ou estuariens est appréciée au regard des 2 seuils, dits N1 et N2. Ils ont été rendus obligatoires par l'arrêté interministériel du 14 juin 2000 relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire et repris par l'arrêté interministériel du 9 août 2006. Ces seuils sont présentés dans le Tableau 4 ci après.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 4. Seuils de qualité N1 et N2 des PCB pour les sédiments marins et estuariens d'après l'Arrêté du 9 Août 2006.

Paramètre	Seuil N1 (mg/kg sur fraction < 2 mm)	Seuil N2 (mg/kg sur fraction < 2 mm)
PCB 101	0,025	0,05
PCB 118	0,025	0,05
PCB 138	0,05	0,1
PCB 153	0,025	0,05
PCB 180	0,05	0,1
PCB 28	0,0	0,1
PCB 52	0,025	0,05

Le même arrêté fixe un niveau de référence (S1) pour les sédiments extraits de cours d'eau ou canaux à 0,68 mg/kg PS (fraction < 2 mm) pour les PCB totaux.

o Qualité des eaux de surface - système d'évaluation de la qualité

Le système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à assurer certaines fonctionnalités : maintien des équilibres biologiques, production d'eau potable, loisirs et sports aquatiques, aquaculture, abreuvement des animaux et irrigation. Les évaluations sont réalisées, à ce jour, au moyen de 156 paramètres de qualité d'eau regroupés en 15 indicateurs appelés "altérations". Certains congénères de PCB font partie de ces « altérations ».

o Qualité des eaux souterraines - système d'évaluation de la qualité

Sur le même principe, le système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines, actuellement en cours de finalisation, repose sur les deux notions d'altération et d'usage (BRGM, 2003). Les 5 usages retenus pour les eaux souterraines sont : production d'eau potable (alimentation en eau potable et industries agro-alimentaires), industrie (hors agro-alimentaire), énergie (pompes à chaleur, climatisation), irrigation et abreuvement. L'altération PCB (exprimée en $\Sigma 7\text{PCBi}$) a une influence sur les usages suivants : production d'eau potable, ainsi que sur l'état patrimonial et sur la fonction « potentialités biologiques ». L'influence sur les usages abreuvement et irrigation est actuellement en cours d'évaluation.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

1.4 AUTRES TEXTES

1.4.1 ACTION DE RECHERCHE RSDE

Les PCB ont fait partie des substances pertinentes au titre de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets des substances dangereuses dans l'eau RSDE1 (cf. rsde.ineris.fr). Toutefois, cette première phase de l'opération a clairement montré qu'aucun secteur d'activité industriel ne pouvait à l'heure actuelle être « étiqueté » comme émetteur de PCB. Par conséquent, les PCB ne sont plus visés par l'action RSDE 2.

1.4.2 AUTRES TEXTES

Les PCB ne sont pas mentionnés dans la liste des substances prioritaires de la Directive Cadre sur l'Eau (Directive 2000/60 du 23 octobre 2000). Toutefois, les 12 PCB de type dioxine sont visés par la proposition de directive du Parlement Européen et du Conseil modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau, proposition datant du 31 janvier 2012⁶.

Face à la contamination en PCB, un plan interministériel (Ministères en charge de l'écologie, de la santé et de l'agriculture) sur les PCB a été officiellement lancé le 6 février 2008⁷. Ce plan s'articule autour des six axes suivants :

- Intensifier la réduction des rejets de PCB ;
- Améliorer les connaissances scientifiques sur le devenir des PCB dans les milieux aquatiques et gérer cette pollution ;
- Renforcer les contrôles sur les poissons destinés à la consommation et adopter les mesures de gestion des risques appropriées ;
- Améliorer la connaissance du risque sanitaire et sa prévention ;
- Accompagner les pêcheurs professionnels et amateurs impactés par les mesures de gestion des risques ;
- Evaluer et rendre compte des progrès du plan.

⁶ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0876:FIN:FR:PDF>

⁷ http://www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=26126.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Du fait de la contamination par les PCB, la pêche est réglementée pour un certain nombre de cours d'eau en France (arrêtés préfectoraux). La liste des arrêtés en cours est disponible sur le site du Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Documents-lies.html>.

Les PCB sont classés parmi les polluants organiques persistants « POPs » par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Ils sont ainsi inscrits sur la liste des POPs retenue par le protocole d'Aarhus⁸ (24/06/1998) et par la convention de Stockholm⁹ du 22 mai 2001, qui concerne l'élimination des POPs (dont la France en est devenue partie le 17 février 2004). Cette convention vise à interdire la production et l'utilisation de 12 POPs identifiés comme les plus nocifs.

1.5 CLASSIFICATION ET ÉTIQUETAGE

En France, l'arrêté du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances chimiques est complété par la directive 2004/73/CE de la Commission du 29 avril 2004 portant sur la 29^{ème} adaptation au progrès technique de la directive 67/548/CEE du conseil.

⁸ http://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.htm. –Le protocole d'Aarhus sur les polluants organiques persistants, adopté en 1998, fait suite à la convention de Genève de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Entré en vigueur en 2003, ce traité international interdit la fabrication et l'utilisation d'un certain nombre de substances chimiques particulièrement polluantes en Europe, Amérique du Nord et Asie centrale, en raison de leurs caractéristiques. Les PCB font partis des polluants organiques persistants visés par ce protocole.

⁹ <http://chm.pops.int/Convention/The%20POPs/The%2012%20initial%20POPs/tabid/296/language/en-US/Default.aspx>.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Afin d'unifier les différents systèmes nationaux de classification et d'étiquetage des produits chimiques dangereux, le Système Général Harmonisé ou SGH (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals ou GHS) a été créé. Il est entré en vigueur en France (et dans tous les pays de l'Union Européenne) le 20 janvier 2009. Ces recommandations internationales ont été mises en œuvre par le règlement « CLP », définissant les nouvelles règles de classification, d'emballage et d'étiquetage des produits chimiques en Europe. Ainsi, le **règlement (CE) n°790/2009** de la Commission du 10 août 2009 modifiant le règlement dit CLP¹⁰ (CE) n°1272/2008 du Parlement européen et du Conseil indique la réglementation relative à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des PCB.

1.5.1 ANCIENNE CLASSIFICATION

Les données présentées ci-dessous (Tableau 5) sont relatives à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges et sont issues de l'**arrêté du 20 avril 1994** complété par la **directive 2004/73/CE** de la Commission du 29 avril 2004 portant sur la 29^{ème} adaptation au progrès technique de la **directive 67/548/CEE** du conseil.

Tableau 5. Informations relatives à la classification et à l'étiquetage et à l'emballage des PCB selon la directive 2004/73/CE de la Commission du 29 avril 2004.

Identification chimique internationale Numéros CE / Numéros CAS	Classification	Étiquetage	Limites de concentrations
Biphényles chlorés ; Diphényles chlorés ; PCB 215-648-1 / 1336-36-3	R33 N ; R50-53	Xn ; N R: 33-50/53 S : (2)-35-60-61	C ≥ 25 % ; Xn, N ; R33-50/53 2,5 % ≤ C < 25 % ; Xn, N ; R33-51/53 0,25 % ≤ C < 2,5 % ; Xn, N ; R33-52/53 0,005 % ≤ C < 0,25 % ; Xn ; R33

¹⁰ Le règlement (CE) n°1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 dit CLP (L'acronyme « CLP » signifie en anglais, « Classification, Labelling, Packaging » c'est-à-dire « classification, étiquetage, emballage ».), modifie et abroge les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifie le règlement (CE) n°1907/2006. Ce texte européen définit les nouvelles règles de classification, d'étiquetage et d'emballage des produits chimiques pour les secteurs du travail et de la consommation. Il s'agit du texte officiel de référence en Europe qui permet de mettre en application le SGH au sein de l'Union européenne dans ces secteurs.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Le Tableau 6 suivant présente la signification des phrases de risques et de sécurité ainsi que la signification des pictogrammes.

Tableau 6. Signification des phrases de risque et de sécurité attachés aux PCB d'après la directive 67/548/EEC ainsi que des pictogrammes.

Phrase de risque	
R33	Danger d'effets cumulatifs
R50/R53	Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
R51-53	Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
R52-53	Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.
Phrase de sécurité	
S2	Conserver hors de la portée des enfants
S35	Ne se débarrasser de ce produit et de son emballage qu'en prenant toutes précautions d'usage
S60	Éliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux.
S61	Éviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.
Pictogrammes	
	Nocif
	Dangereux pour l'environnement

1.5.2 SYSTEME GENERAL HARMONISE OU SGH

Les données présentées dans le Tableau 7 ci-après sont relatives à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges et sont issues du règlement (CE) n° 790/2009 de la commission du 10 août 2009 le modifiant.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 7. Informations relatives à la classification et à l'étiquetage et à l'emballage attachées aux PCB selon le règlement (CE) n° 790/2009 de la commission du 10 août 2009.

Substance	Classification	Etiquetage	
		Code des pictogrammes mention d'avertissement	Code des mentions des dangers
Identification chimique internationale Numéros CE Numéros CAS	Codes des mentions de danger	Code des pictogrammes mention d'avertissement	Code des mentions des dangers
PCB - polychlorobiphenyls 215-648-1 1336-36-3	H373 H400 H410	SGH08 SGH09  	H373 H410

Le Tableau 8 ci-après présente la signification des codes de danger et des Informations additionnelles d'après la commission européenne et la signification des pictogrammes du règlement CLP.

Tableau 8. Signification des codes de danger et des Informations additionnelles attachées aux PCB, d'après la Commission européenne 2009 ainsi que des pictogrammes.

Code de danger et information additionnelle	
H373	Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.
H400	Très toxique pour les organismes aquatiques.
H410	Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.
Pictogrammes	
	SGH08 : sensibilisant, mutagène, cancérigène, reprotoxique
	SGH09 : Danger pour le milieu aquatique

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

1.5.3 AUTRE CLASSIFICATION

Les PCB sont concernés par la directive européenne dite SEVESO II (directive 96/82/CE concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses), cette substance étant classée « 9i. Très toxiques pour les organismes aquatiques » avec une concentration SEVESO supérieure à 0,005 %.

1.5.4 TOXICITE

Des informations sur la toxicité des PCB sont notamment disponibles sur le site « Portail des substances chimiques » de l'INERIS¹¹.

¹¹ Le site « Portail des substances chimiques » de l'INERIS permet d'obtenir des informations sur la toxicité des PCB à partir du nom ou du numéro CAS : <http://chimie.ineris.fr/fr/lien/basededonnees/toxicologie/recherche.php>.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

2 PRODUCTION ET UTILISATIONS

2.1 PRODUCTION ET VENTE

2.1.1 DONNEES ECONOMIQUES

La production industrielle a débuté aux Etats-Unis (société Monsanto) en 1929 et s'est étendue en Allemagne (Bayer) en 1930. Après la deuxième guerre mondiale la production s'est développée dans d'autres pays : Italie (Caffaro), Japon (Kanegafuchi), France (Prodelec), Grande-Bretagne (Monsanto), mais aussi la Tchécoslovaquie, l'ex-Union Soviétique et l'Espagne. En 1970, la production des PCB aux Etats-Unis a atteint son maximum : 38 000 tonnes (Dargnat et Fisson, 2010).

Entre les années 1929 et 1989, la production mondiale totale de PCB (excluant l'Ex-Union Soviétique) était de 1,5 million de tonnes - une moyenne annuelle d'environ 26 000 tonnes par an. Même après que les Etats-Unis eurent interdit la fabrication, la vente et la distribution des PCB (hormis dans les systèmes "entièrement scellés" en 1976), la production mondiale a continué à un rythme de 16 000 tonnes par an, des années 1980 à 1984, et de 10 000 tonnes par an de 1984 à 1989 (UNEP, 1998).

Sur cette période (entre 1929 et 1989), la production française a été estimée à près de 150 000 tonnes réparties sur deux sites de la région grenobloise : Jarrie et Pont-de-Claix entre 1955 et 1984 dont 60 000 pour le matériel électrique (Dargnat et Fisson, 2010 ; Mhiri et Tandeau de Marsac, 1997).

A ce jour, en raison de la réglementation, à l'échelle française et européenne la production en PCB est nulle. Sans pouvoir le confirmer, cette tendance semble suivie mondialement.

2.1.2 PROCEDES DE PRODUCTION

Les PCB sont des substances de synthèse produites de manière industrielle depuis le début du XX^e siècle par chloration du biphenyle. Ils ont été pour la première fois synthétisés en 1881 par Schmidt et Schulz (Bazzanti *et al.*, 1997).

Ces composés sont formés à partir de benzène et de chlore en deux grandes étapes (voir Figure 2, d'après Gervason, 1987) :

- Synthèse du noyau biphenyle par déshydrogénation de deux molécules de benzène à 800 °C ;

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- Chloration progressive du noyau biphenyle par apport de chlore sous forme de vapeurs de chlore anhydre à une température de 100°C environ en présence de catalyseurs spécifiques (chlorure ferrique ou limaille de fer principalement).

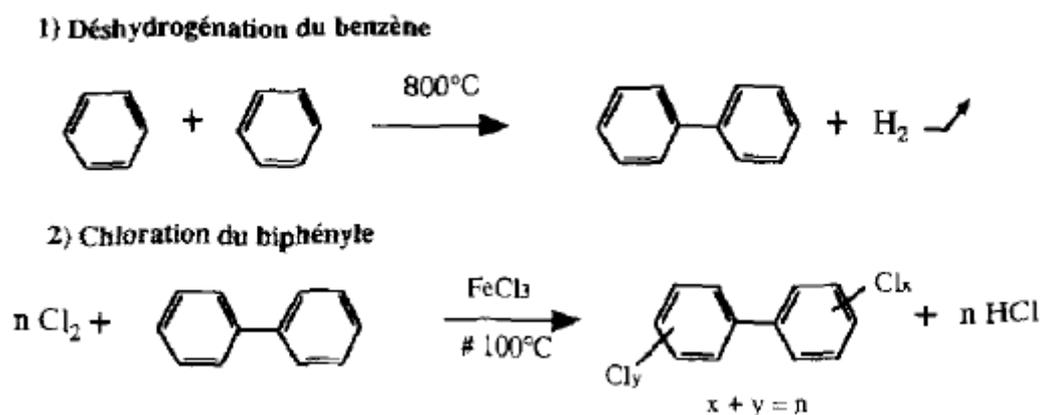


Figure 2. Principales étapes de synthèse des PCB (extrait de Gervason, 1987).

La dénomination commerciale des PCB variait d'un pays à l'autre et suivant les entreprises de fabrication. Les principaux fabricants et noms commerciaux sont présentés dans le Tableau 9 ci-dessous (Pellet *et al.*, 1993).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 9. Principaux fabricants et noms commerciaux historiques des mélanges contenant des PCB (Pellet *et al.*, 1993).

Pays	Nom commercial	Fabricant
USA	Asbetol	American Corporation
	Chlorextol	Allis Chlamers
	Diaclor	Sangamo Electric
	Dykanol	Cornell Dubilier
	Elemex	Mac Graw Edison
	Hyvol	Aerovox
	Inerteen	Westinghouse Electric
	No-Flamol	Wagner Electric
	Pyranol	General Electric
	Saf-T-Kuhl	Kuhlman Electric
	Therminol	Monsanto
	Aroclor	Monsanto
Royaume-Uni	Aroclor	Monsanto
République Fédérale d'Allemagne	Clophen	Farbenfabriken Bayer
France	Phenoclor	Rhone-Poulenc
	Pyralène	Prodelec
	Electrophenyle	Ugine-Kuhlman
Ex-Union Soviétique	Soval	Sovol
Tchécoslovaquie	Delor	Chemko
Japon	Santotherm	Mitsubishi-Monsanto
	Kanechlor	Kanegafuchi Chem. Co
Italie	Fenclor	Caffaro
	D.K.	

Des codes relatifs au degré de chloration du mélange sont associés à ces noms commerciaux.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Dans le cas des Aroclor, les différents mélanges sont référencés par deux nombres où le premier fait référence au nombre d'atomes de carbone du biphenyle (soit 12 pour les PCB) et le second représente le pourcentage, en poids de chlore du mélange. Par exemple, les Aroclor 1221, 1242 et 1260 contiennent respectivement 21 %, 42 % et 60 % de chlore (Pellet *et al.*, 1993).

Pour d'autres marques commerciales, les chiffres associés indiquent le nombre moyen d'atomes de chlore par molécule. Par exemple, en France le Phénoclor DP 6 est un mélange dont les noyaux biphenyles sont substitués par 6 atomes de chlore en moyenne (Pellet *et al.*, 1993).

2.2 SECTEURS D'UTILISATION

Du point de vue économique, entre 1955 et 1984 et en France, 60 000 tonnes ont été vendus au secteur des matériaux électriques (Gervason, 1987). Parmi ces 60 000 tonnes, l'utilisation était répartie de la manière suivante :

- 52 000 tonnes employées dans les transformateurs ;
- 5 000 tonnes dans les condensateurs de puissance ;
- 3 000 tonnes dans les « petits » condensateurs (électroménager, éclairage).

Aujourd'hui, en France, les PCB ne sont plus utilisés.

Du fait de leurs caractéristiques physico-chimiques particulièrement recherchées (inflammabilité, stabilité thermique et chimique, faible tension de vapeur, constante diélectrique élevée), les PCB ont été employés dans différents domaines (Dargnat et Fisson, 2010).

Les principales filières d'application des PCB étaient, selon Pellet *et al.* (1993) et Dargnat et Fisson (2010) :

- les matériels électriques : les PCB étaient utilisés comme fluides isolants dans les transformateurs (PCB à 60 % de chlore en mélange avec des trichlorobenzènes) et gros condensateurs (PCB à 42 % de chlore) en raison de leurs propriétés diélectriques et de leur stabilité aussi bien thermique que chimique ;
- les échangeurs thermiques et hydrauliques : les PCB étaient utilisés comme fluide caloporteur dans des circuits à haute température, notamment dans l'industrie agro-alimentaire et dans les environnements à risque incendie (navires transportant des combustibles par ex) ou comme fluide hydraulique de sécurité dans des environnements à risque ou contrainte thermique (mines de charbon) ;

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- les matières plastiques : les PCB pouvaient être utilisés comme additif ignifugeant ;
- les peintures, laques, vernis, colles, encres (reprographie par effet thermique), fils, câbles, textiles synthétiques, joints d'isolation et mastics, revêtements de sols (linoléum), produits en PVC, caoutchouc, papier : les PCB pouvaient y être employés comme agents plastifiants et adhésifs ;
- les revêtements : les PCB ont servi d'anti-corrosifs dans la formulation des peintures et vernis puisqu'ils résistent bien aux agents oxydants ;
- l'industrie mécanique : dans les huiles de coupe, de lubrification et de moulage en tant qu'additif lubrifiant haute pression et fluides industriels ;
- les traitements phytosanitaires : les PCB ont été utilisés comme adjuvants dans certaines préparations phytosanitaires pour limiter la volatilisation des principes actifs.

Des exemples de types de mélanges PCB utilisés en fonction des différentes applications (mélanges Arochlors) sont présentés dans le Tableau 10 ci-dessous (Pellet *et al.*, 1993) :

Tableau 10. Types de PCB utilisés en fonction des différentes applications (Pellet *et al.*, 1993).

UTILISATION	TYPE D'AROCLOR
SYSTEMES CLOS	
Transformateurs électriques	1242, 1254, 1260
Condensateurs électriques	1221, 1254, 1016
SYSTEMES SEMI-CLOS	
Fluides caloporteurs	1242
Fluides hydrauliques	1232, 1242, 1248, 1254, 1260
SYSTEMES OUVERTS	
Adhésif	1221, 1232, 1242, 1248, 1254
Plastifiant des caoutchoucs	1231, 1232, 1242, 1248, 1254, 1264
Plastifiant pour encaustiques	1242, 1254, 1268
Anti-poussières, antistatiques	1242, 1254, 1268
Adjuvant des encres	1254
Adjuvant des huiles de coupe	1254
Adjuvant des huiles de moteur	1260
Adjuvant de produits phyto-sanitaires	1254, 1260
Photocopies au carbone	1242
Huile à immersion pour microscopes	1260
Plastifiant de résine synthétique	1248, 1254, 1260, 1262, 1268

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

L'importance des différents secteurs d'utilisation a été évaluée (date non précisée, d'après Nations Unies -PNUE, 2001) et est présentée dans le Tableau 11 ci-après.

Tableau 11. Part des différents secteurs d'application dans la production de PCB (Nations Unies - PNUE, 2001).

Secteurs d'application	Part dans la production de PCB
Fluides diélectriques de transformateurs et condensateurs	60 %
Fluides industriels, hydrauliques, turbines à gaz	15 %
Adhésifs, textiles, imprimeries et pesticides	25 %
Additifs dans la formulation d'insecticides, bactéricides...	Non déterminé

Comme nous l'avons vu précédemment dans la partie réglementation (1.2), l'OCDE a demandé à ses états-membres en 1973 :

- de limiter les usages des PCB aux seuls usages en circuit fermé comme les fluides diélectriques et pour quelques applications industrielles de transport de chaleur et de pression ;
- d'arrêter tout usage dispersif ;
- de contrôler la production, l'importation et l'exportation de ces produits.

Par la suite, en considérant que les diminutions des concentrations dans l'environnement n'étaient pas suffisamment marquées (sauf dans certains cas particuliers) et que les PCB pouvaient produire des dioxines ou furanes lors d'incendies, l'OCDE a décidé l'abandon de tous les usages des PCB. En France, les décisions concernant l'utilisation des PCB ont été prises en cohérence avec les décisions de l'OCDE et la réglementation européenne. Les usages dispersifs ont été arrêtés en 1975 (arrêté du 8 juillet 1975). En 1986, un décret ministériel a restreint l'utilisation des PCB aux équipements déjà en service et en février 2003, en application d'une directive européenne de 1996 (CEE-1996/59), est publié un arrêté planifiant l'élimination de tous les appareils contenant des PCB avant fin 2010, compte tenu des capacités des usines capables de détruire ces composés en toute sécurité (PIREN Seine, 2009).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

3 REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT

La pollution environnementale par les PCB est diffuse et d'origine strictement anthropique.

D'une manière schématique, les sources de contamination peuvent être classées en deux grandes catégories :

- les sources historiques dues à la production/utilisation de PCB entre 1929 et 1987 (sols et sédiments contaminés par exemple) ;
- les sources actuelles qui contiennent encore des PCB dans l'environnement (utilisation d'appareils mis en service avant 1987 par exemple).

En effet, bien que la production et l'utilisation des PCB soient interdites en France depuis 1987, l'utilisation des appareils mis en service avant 1987 et contenant moins de 500 ppm de PCB reste autorisée. Ces transformateurs seront éliminés à la fin de leur terme d'utilisation (cf. partie réglementation de la fiche (1.2) et bilan du plan PCB (5.1.1)). Ainsi, les sources actuelles de PCB vont résulter essentiellement de l'usage des derniers appareils (vieux transformateurs susceptibles de fuir, d'exploser ou de brûler), des traitements de dépollution ainsi que des actes de négligence et de vandalisme (Abbes *et al.*, 2010). Une autre source actuelle d'émissions de PCB dans l'environnement serait certaines peintures (cf. Jartun *et al.*, 2009) mais aussi certains joints, mastics, vernis fabriqués avant 1987 (OFEV, 2012).

Dans leur rapport de 2001 (Nations Unies -PNUE, 2001), les Nations-Unies présentent un schéma reprenant l'ensemble des sources possibles de libération des PCB dans l'environnement. Ce schéma est repris ci-après (cf. Figure 3).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

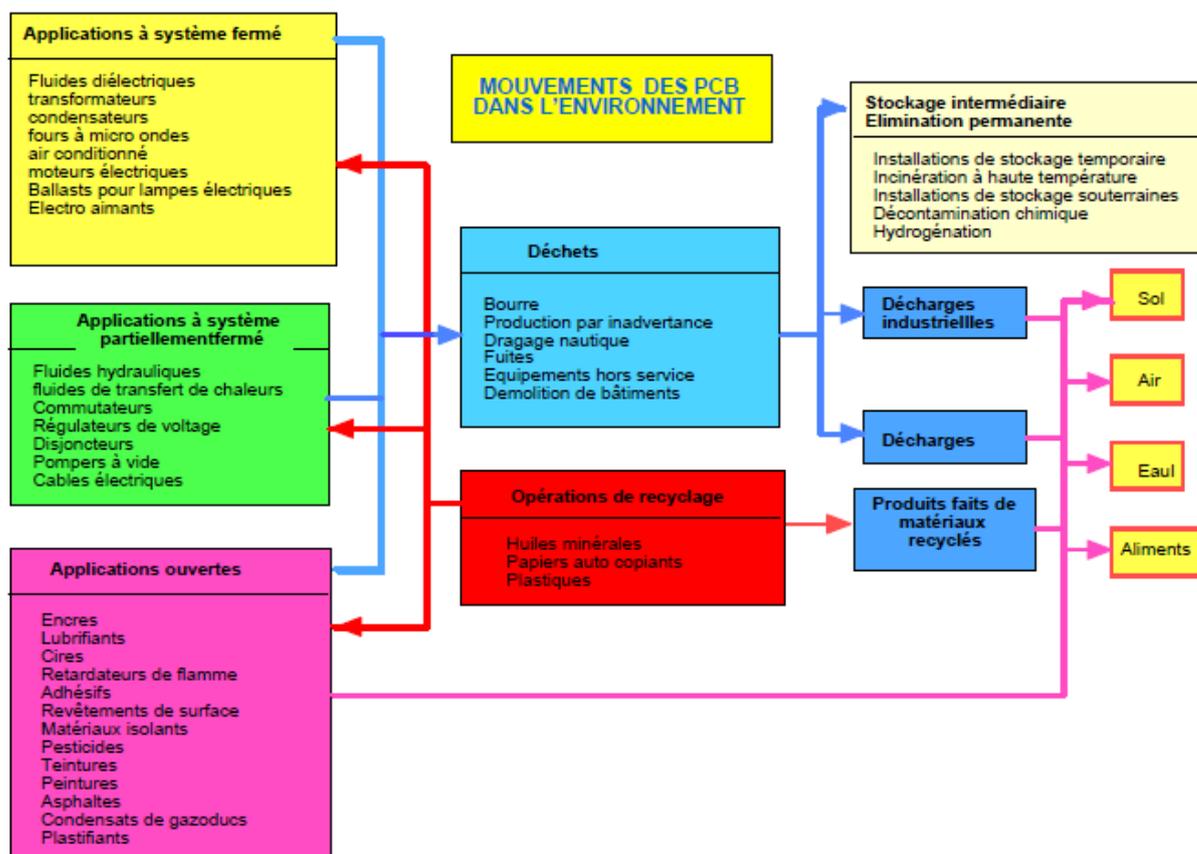


Figure 3. Différentes sources industrielles de PCB en fonction du type d'application (Nations Unies -PNUE, 2001).

On peut ainsi voir que les PCB sont susceptibles d'être présents dans tous les milieux environnementaux (air, eau, sol).

Dans leur rapport, Ogura *et al.*, (2008) ont rapporté sur deux graphiques, d'une part l'évolution des émissions de PCB coplanaires (12 PCB de type dioxine) dans l'environnement entre 1954 et 2005 (cf. Figure 4 ci-après) et d'autre part, l'estimation totale des émissions cumulées de chaque composé pour la même période (cf. Figure 5 ci-après).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

On notera que sur ces deux figures, « PCB products » correspond aux émissions dues à la production, utilisation, stockage, traitement, élimination, ... et celles-ci ont été calculés à partir des données de l'article de Breivik *et al.*, (2002). De plus, les émissions aussi bien pour les « PCB products » que pour l'incinération et l'agriculture ont été estimées à partir de données japonaises.

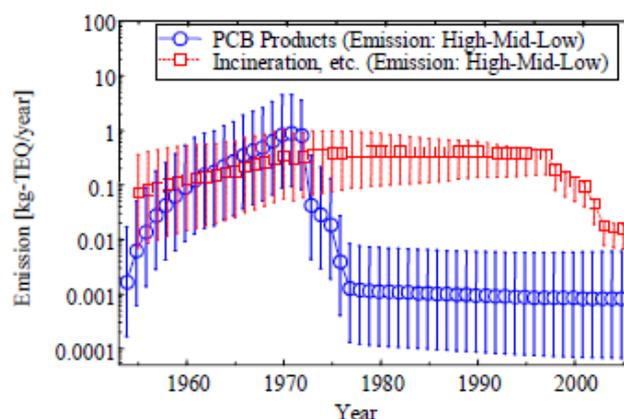


Figure 4. Evolution des émissions de PCB de type dioxine dans l'environnement entre 1954 et 2005 (Ogura *et al.*, 2008).

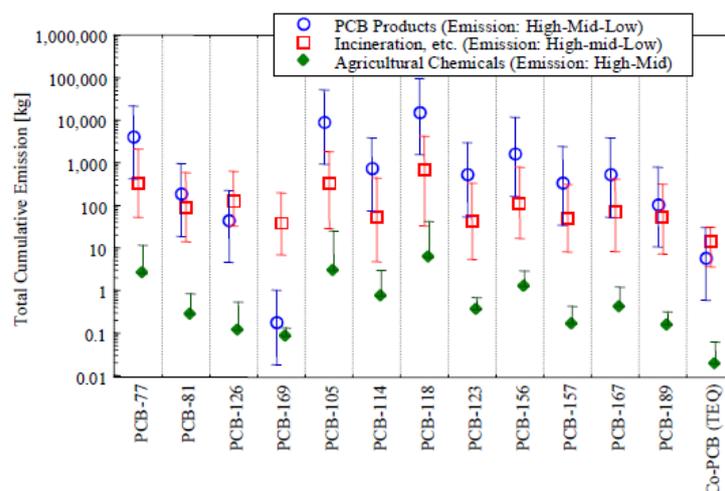


Figure 5. Estimation cumulée des émissions de chaque PCB de type dioxine dans l'environnement entre 1954 et 2005 (Ogura *et al.*, 2008).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

3.1 EMISSIONS NON-ANTHROPIQUES

Les PCB ne sont pas présents naturellement dans l'environnement. Aucune émission non anthropique n'est donc observée.

3.2 EMISSIONS ANTHROPIQUES TOTALES

Ce paragraphe concerne principalement les émissions industrielles, celles des stations d'épuration urbaines de plus de 100 000 équivalents habitants et celles des élevages.

Ces émissions sont notamment basées sur les données sur le registre français des émissions polluantes IREP¹².

Remarques sur les données IREP :

- Ce registre différencie les émissions directes dans l'eau de celles qui sont indirectes. Un rejet direct est défini comme un rejet isolé, après station d'épuration interne au site industriel ou directement dans le milieu naturel, un rejet indirect est défini comme un rejet raccordé à une station d'épuration extérieure à l'installation industrielle émettrice.
- De plus, seuls les rejets supérieurs à un seuil donné sont soumis à déclaration (seuil défini substance par substance) et la surveillance des rejets ponctuels n'a pas de caractère obligatoire. Les informations issues de cette base de données ne peuvent donc pas être considérées comme exhaustives.
- Concernant les émissions de PCB en 2009 vers les eaux et les sols, la station d'épuration d'Angers a déclaré avoir émis la quasi-totalité des émissions françaises vers les sols et les eaux (émissions directes), à savoir respectivement 483 000 g/an et 121 000 g/an. Ce déclarant a été contacté et confirmé ces valeurs sans pouvoir les expliquer. Néanmoins, ces valeurs semblent sujettes à caution.
- Pour les émissions de PCB vers les sols, la société Abera, spécialisée dans l'abattage et la découpe de porcs, a déclaré avoir émis des rejets en kg/an de PCB vers les sols, or après consultation de cette société, il s'agit d'une erreur, les émissions déclarées étant exprimées en g/an et non en kg/an.

¹² <http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

L'évolution des émissions des PCB déclarées dans le cadre de l'arrêté du 31 janvier 2008 par les industriels de 2007 à 2010 est présentée dans le Tableau 12 ci-dessous. Les données affichées sont issues du registre français des émissions polluantes IREP¹³. A titre de comparaison, ce tableau comprend également les valeurs de la base de données E-PRTR¹⁴ pour les émissions de l'Union Européenne (UE 27) en 2008.

Tableau 12. Emissions des PCB dans l'environnement évaluées à partir données IREP (2011) et E-PRTR (2011).

Base de données	IREP/ BDRep				E-PRTR	
	France				France	UE27
Emissions en PCB en g/an	2007	2008	2009	2010	2008	2008
Air	160	383	596	414	200	160 000
Eau (total)	2 833	8 533	132 202 / (11 202)*	10 838	1 510	185 000
- eau (direct)	2691	1843	132 027 / (11 027)*	7 911	-	-
- eau (indirect)	142	6 690	175	2927	-	-
Sol	26 333 / (15 035)*	31 848 / (20 640)*	519 496 / (21 062)*	40 085 / (21 244)*	20 640	29 500

*Les chiffres entre parenthèses présentés dans le tableau sont les émissions de PCB corrigées de ces valeurs douteuses présentées ci-dessus au paragraphe « Remarques sur les données IREP ».

Les émissions de PCB concernent majoritairement les milieux aquatiques et terrestres. En 2010, en France, les émissions vers le sol (environ 21 kg soit 65 % du total) et vers les eaux (environ 11 kg soit 33 % du total) sont plus importantes que celles vers l'air (environ 0,4 kg soit 1,2 % du total).

En France, la station d'épuration de Seine aval est le plus gros émetteur de PCB vers les sols avec des rejets évoluant de 10 kg/an en 2008 à 5,1 kg/an en 2010. Viennent ensuite, parmi les 5 plus gros émetteurs, une autre station d'épuration, un établissement du secteur de l'agro-alimentaire et un établissement du secteur - fabrication d'articles en papier à usage sanitaire ou domestique et un établissement de l'administration publique générale.

¹³ <http://www.pollutionsindustrielles.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>

¹⁴ <http://prtr.ec.europa.eu/Home.aspx>

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

En 2010, les 5 émetteurs vers le milieu aquatique (eaux directes) sont, pour 4 d'entre eux, des stations d'épuration.

La France a un niveau d'émissions important en PCB (environ 70 % des émissions européennes) à l'échelle de l'Union Européenne concernant les émissions vers les sols. On notera néanmoins, le faible nombre de pays déclarant des émissions de PCB vers les sols, à savoir entre 2 et 3 pour les années 2007 à 2009.

Par contre, en 2008, les émissions industrielles vers l'eau et l'air représentent respectivement 0,8 % et 0,1 % du total des émissions déclarées dans l'UE (27) pour l'année 2008. Ces valeurs semblent très faibles.

Les émissions en PCB, tous milieux confondus, entre 2007 et 2010 ont tendance à augmenter. Remarquons que les données « rejets indirects » dans l'eau sont ininterprétables en l'état (voir paragraphe 3.4.1).

Comparaison entre les données IREP et E-PRTR

Il est à noter que les valeurs seuil de déclaration concernant les PCB aussi bien pour la France (IREP) que pour l'Union Européenne (E-PRTR) sont de 100 g/an dans l'air, dans l'eau et dans les sols.

Pour l'année 2008, les émissions d'IREP (2011) sont plus faibles que les émissions industrielles déclarées dans le registre européen des rejets et des transferts de polluants E-PRTR (2011).

Les différences observables entre ces deux sources de données sont liées aux faits suivants :

- la base de données IREP peut contenir des informations volontairement fournies par les industriels sur les rejets non soumis à déclaration (rejets inférieurs aux seuils de déclaration) alors que, par construction, la base de données E-PRTR exclut la prise en compte de ces données ;
- la base de données IREP prend en compte les rejets d'un plus grand nombre de secteurs d'activité industrielle qu'E-PRTR.

3.3 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

De nos jours, les émissions atmosphériques anthropiques de PCB sont principalement dues soit à (Shatalov *et al.*, 2004) :

- la production intentionnelle historique, l'utilisation et l'élimination consécutive de produits ou matériaux contenant des PCB ;
- la formation accidentelle de PCB dans les divers procédés de combustion.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

3.3.1 LES EMISSIONS TOTALES DANS LE MILIEU ATMOSPHERIQUE

En 2009, les émissions atmosphériques de PCB en France tous secteurs confondus (industriels et autres) représentaient 58 kg (CITEPA, 2011).

Selon le CITEPA, les secteurs émetteurs prépondérants en 2009 étaient :

- L'industrie manufacturière (52,2 %) ;
- La transformation d'énergie (24,2 %) ;
- Le résidentiel/tertiaire (22,6 %), principalement du fait de la consommation énergétique.

Toujours selon cette même source, entre 1990 et 2009, ces dernières ont fortement diminué (-67 % soit une diminution de 120 kg par rapport aux émissions de l'année 1990). Cette baisse est observée sur l'ensemble des principaux secteurs émetteurs mais plus particulièrement dans le secteur de l'industrie manufacturière.

Dans le secteur de la transformation d'énergie, les émissions proviennent majoritairement de la production d'électricité (85,7 % des émissions du secteur en 2009). Depuis 1990, les émissions de ce secteur ont baissé de 48,6 % suite, en particulier, à la mise en place de traitements des effluents atmosphériques sur les installations d'incinération avec récupération d'énergie suite à l'arrêté du 20 septembre 2002 (directive européenne 2000/76/CE).

Dans le secteur de l'industrie manufacturière, la baisse des émissions de 77,2 % entre 1990 et 2009 est imputable, d'une part, aux installations de traitement des déchets industriels dangereux (arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux déchets dangereux) et, d'autre part, à l'incinération de déchets hospitaliers suite à la baisse des quantités incinérées et à la mise en conformité de ces installations avec l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux déchets non dangereux. Entre 2008 et 2009, les émissions ont diminué de presque 19 % suite à la baisse de production des aciéries électriques.

L'évolution des émissions atmosphériques, en PCB par secteur d'activité, entre 1990 et 2010 est présentée sur la Figure 6 ci-après.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

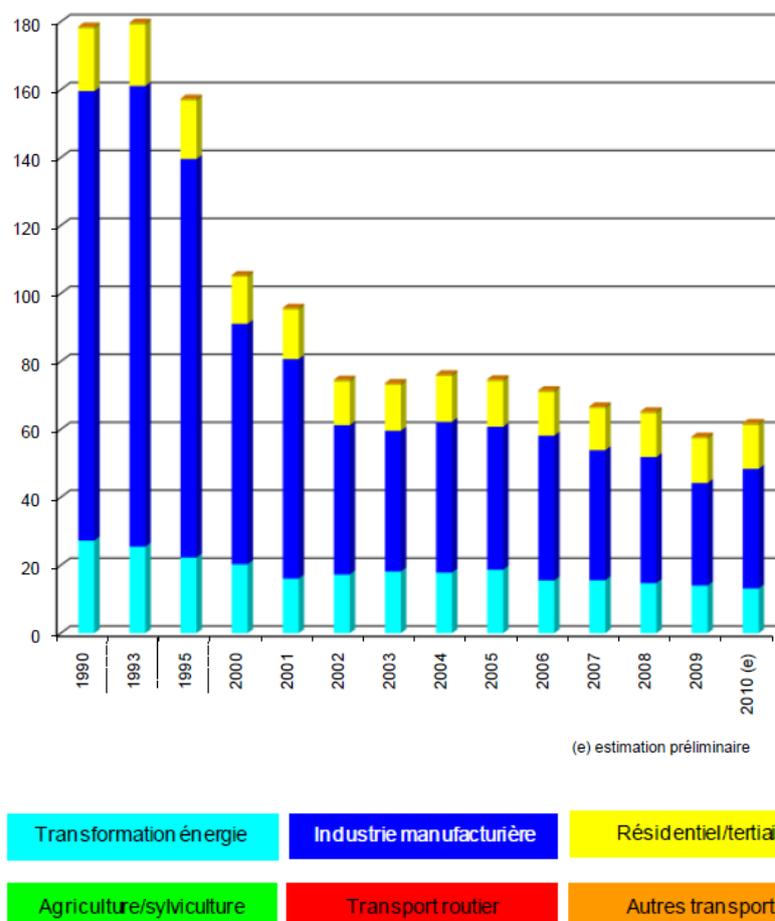


Figure 6. Evolution des émissions atmosphériques en PCB (en kg) en France (CITEPA, 2011).

Selon le rapport du PIREN Seine (2009), d'autres sources d'émission vers l'atmosphère ne sont pas prises en compte dans ces inventaires, en particulier les émissions directes par volatilisation à partir des équipements contenant des PCB (informations issues d'une étude de TNO (Pays-Bas) datant de 1997 qui estimait à 94 % les émissions européennes atmosphériques de PCB à partir des fuites d'équipements électriques avec des facteurs d'émissions variables selon les pays - Berdowski *et al.*, 1997 cité par PIREN Seine, 2009). Un autre point est soulevé par le rapport du PIREN Seine (2009) qui concerne les émissions spécifiques mal connues comme celles des incinérateurs d'ordures ménagères ou les émissions par volatilisation à partir des fuites de PCB, de décharges et des sols.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

3.3.2 LES EMISSIONS INDUSTRIELLES DANS LE MILIEU ATMOSPHERIQUE

En France, depuis 2007 et d'après des données issues de INERIS/BDRRep (2011)¹⁵, les émissions atmosphériques ainsi que le nombre de déclarants sont en augmentation avec un maximum de 596 g/an pour l'année 2009 (cf. Figure 7 ci-dessous).

En 2010, les 3 premiers émetteurs appartenaient au secteur du traitement et élimination des déchets dangereux et représentaient plus de 99 % des émissions totales.

Evolution des émissions déclarées (en g/an) :

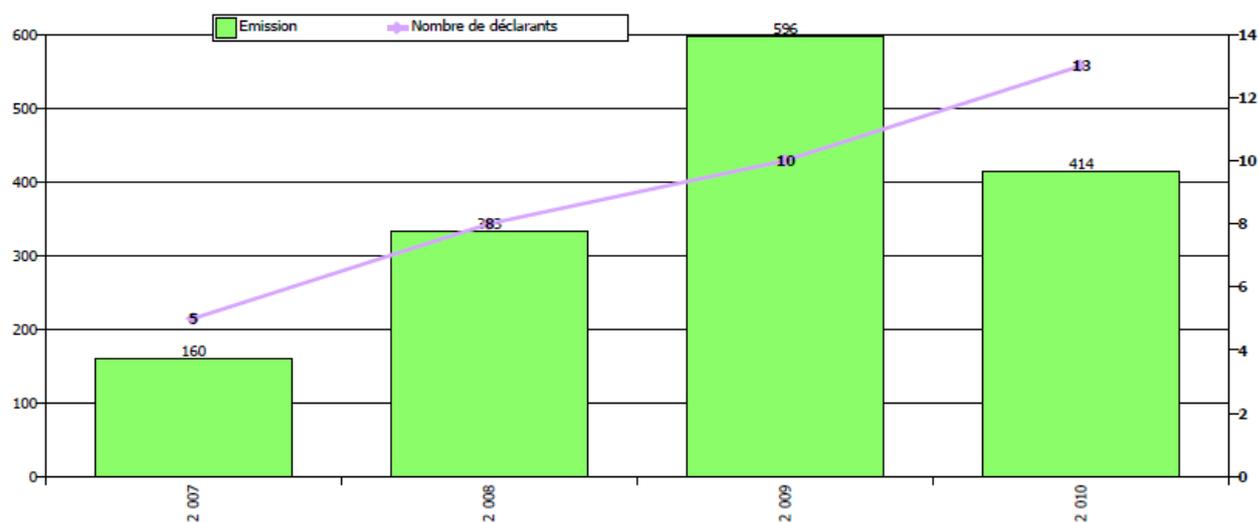


Figure 7. Evolution des émissions déclarées en PCB (en g/an)- INERIS, 2011.

¹⁵ Voir les remarques sur les données IREP reportées au paragraphe 3.2.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Remarque :

On constate une différence significative, à savoir environ un facteur 70, concernant les émissions totales atmosphériques en PCB de l'industrie française entre le CITEPA et les données issues d'IREP.

Toutefois, les deux sources n'ont pas le même périmètre (seuls installations classées pour IREP). De plus, il semble difficile de comparer les émissions déclarées par les exploitants sur le site GEREP et les émissions calculées par le CITEPA. En effet, le CITEPA réalise une estimation des rejets dans l'atmosphère au moyen d'une méthodologie de calcul particulière. L'identification des sources émettrices fait appel à des nomenclatures relatives aux activités émettrices (SNAP - Selected Nomenclature for Air Pollution) et aux combustibles (NAPFUE - Nomenclature for Air Pollution of FUEls). Les sources prises en compte sont définies comme étant des combinaisons de plusieurs sous-ensembles relatifs respectivement aux activités, aux combustibles et à des subdivisions éventuelles en fonction d'autres critères tels que type de procédé, équipement de dépollution, conditions opératoires, etc. Le second et le troisième sous-ensemble peuvent ne pas être pertinents dans certains cas. Le détail de la méthodologie est disponible sur le site du CITEPA : <http://www.citepa.org/emissions/methodologie/index.htm>. Concernant les émissions évaluées à partir d'IREP, elles correspondent à la somme des émissions déclarées par les exploitants (la déclaration est soumise à un seuil réglementaire et par conséquent les émissions calculées sont non exhaustives).

Les répartitions géographiques des déclarants et des émissions déclarées sont présentées sur la Figure 8 ci-dessous.

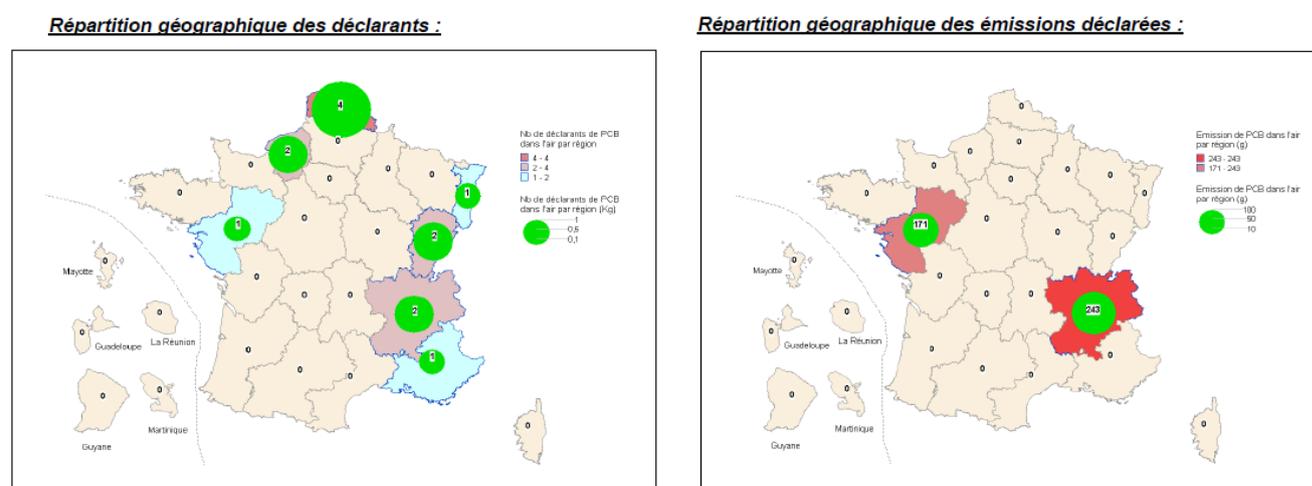


Figure 8. Répartitions géographiques des déclarants et émissions déclarées (INERIS, 2011).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

On ne distingue pas de corrélation entre le nombre de déclarants par région et les émissions régionales déclarées.

En Europe, en 2009, les principaux émetteurs industriels de PCB vers l'atmosphère étaient la Belgique (49 %), l'Italie (26 %) et l'Espagne (12 %). Les secteurs significatifs étaient la production du fer et de l'acier brut incluant le moulage continu (42,8 %) et la production de ciment et de chaux (40,9 %) (E-PRTR, 2011).

3.4 EMISSIONS VERS LES EAUX

3.4.1 DONNEES IREP

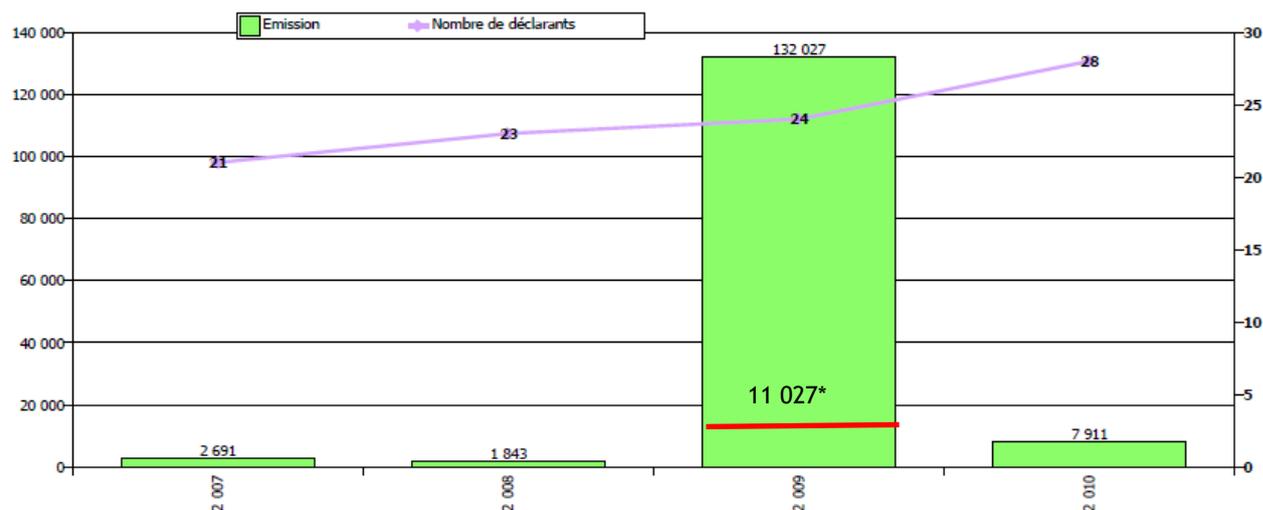
En France, depuis 2007 et d'après des données issues d'INERIS/BDRep (2011)¹⁶, les émissions vers le milieu aquatique (émissions directes et indirectes vers le milieu aquatique) ainsi que le nombre de déclarants dégagent une tendance à la hausse (cf. Figure 9 et Figure 10 ci-après). Il est possible que l'augmentation du nombre de déclarants soit, pour une part, liée à la mise en place du plan national d'action PCB en 2008 et dont un des axes porte sur le renforcement de la surveillance des milieux aquatiques.

On notera néanmoins une valeur importante en 2008 pour les rejets indirects vers le milieu aquatique et pour l'année 2009 pour les rejets directs (valeurs sujettes à caution comme vu dans le paragraphe 3.2).

¹⁶ Voir les remarques sur les données IREP reportées au paragraphe 3.2.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Evolution des émissions déclarées (en g/an) :



*Valeur corrigée de celle de la station d'épuration d'Angers jugée sujette à caution

Figure 9. Evolution des émissions vers le milieu aquatique - rejets directs (INERIS, 2011).

Evolution des émissions déclarées (en g/an) :

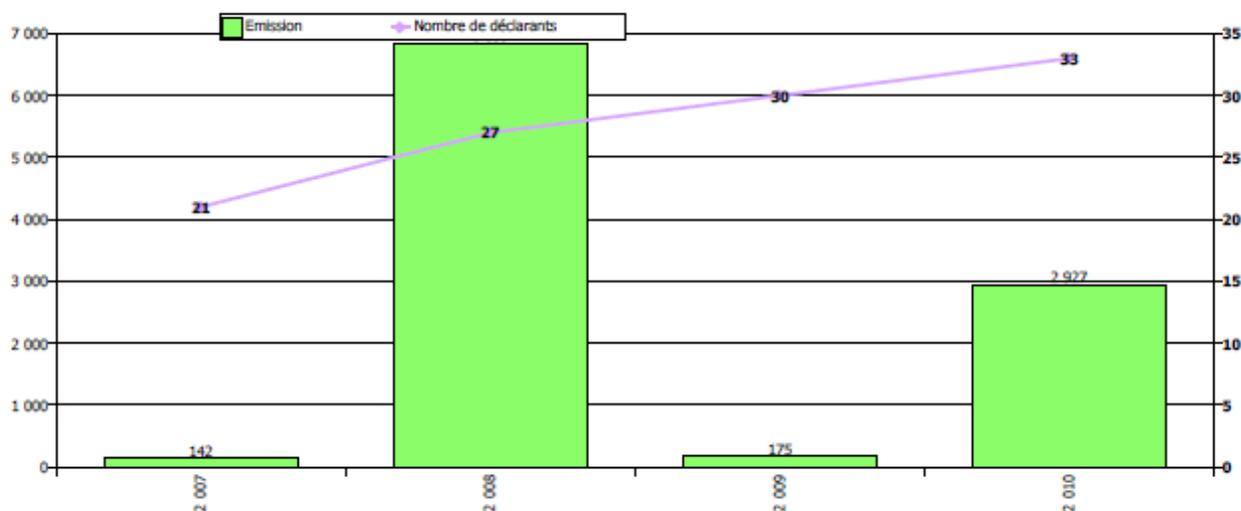


Figure 10. Evolution des émissions vers le milieu aquatique - rejets indirects (INERIS, 2011).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

En 2010, 4 des 5 premiers émetteurs vers les eaux (directes) appartenait au secteur de la collecte et du traitement des eaux usées et l'émetteur restant à celui de la production de combustible gazeux. Concernant les émetteurs vers les eaux indirectes, l'émetteur principal appartient au secteur du traitement et élimination des déchets dangereux et représente 99 % des émissions totales dans ce milieu.

Les répartitions géographiques des déclarants et des émissions déclarées sont présentées sur les Figure 11 et Figure 12 ci-dessous.

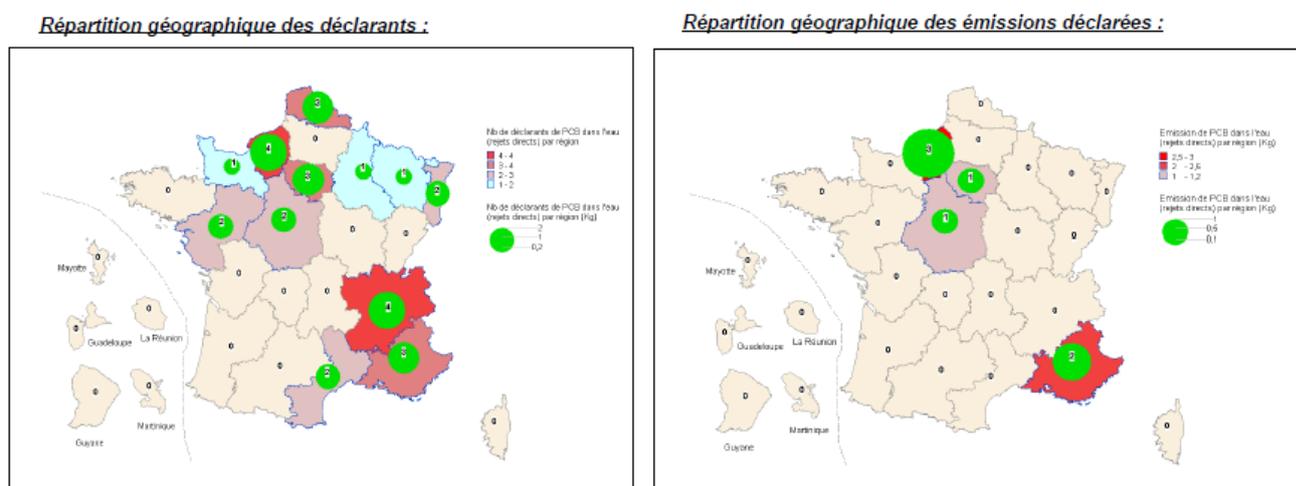


Figure 11. Répartitions géographiques des déclarants et des émissions déclarées directes vers les eaux (INERIS, 2011).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

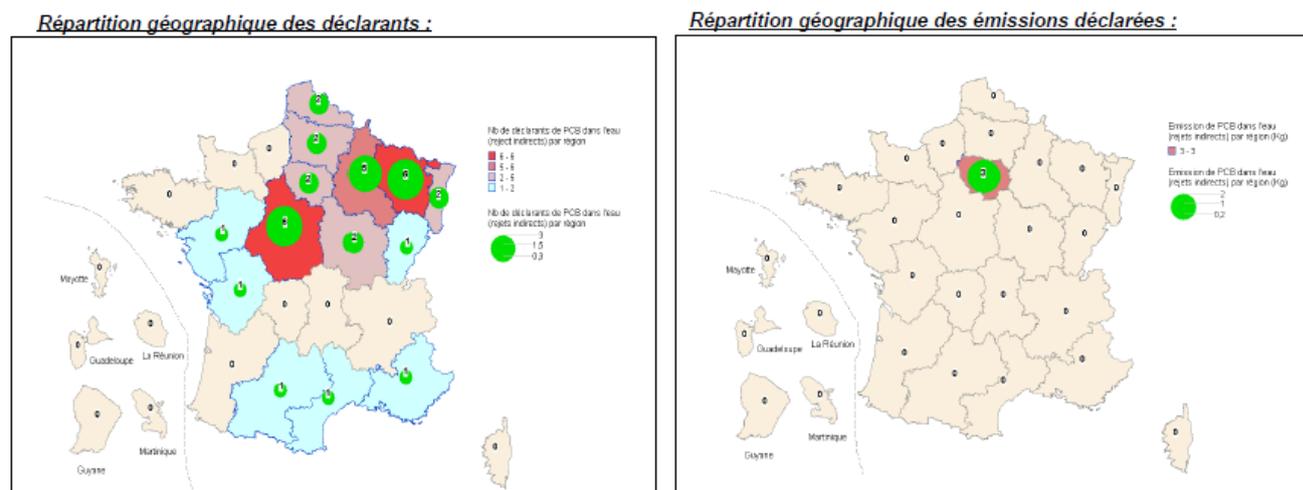


Figure 12 : Répartitions géographiques des déclarants et des émissions déclarées indirectes vers les eaux (INERIS, 2011).

On ne distingue pas de corrélation entre le nombre de déclarants par région et les émissions régionales déclarées aussi bien pour les émissions directes ou indirectes vers les eaux.

En Europe, en 2008, le principal émetteur industriel de PCB vers le milieu aquatique était l'Italie (95 % en masse). Les secteurs significatifs étaient celui du traitement des eaux usées (84 %) et celui de l'élimination ou valorisation des déchets dangereux (15,3 %) (E-PRTR, 2011).

3.4.2 DONNEES RSDE

De 2003 à 2007 s'est déroulée en France une action de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau (action « 3RSDE »). Deux campagnes de mesure ont permis de réaliser l'inventaire de 106 substances chimiques dans 21 régions françaises dans les rejets aqueux de 2 876 sites volontaires (majoritairement des installations classées), 167 stations d'épuration urbaines et 22 centres de production d'électricité. Dans le cadre de cette action, un bilan de ces campagnes de mesure a été dressé et des données sur les flux mesurés en PCB (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) au sortie des installations sont disponibles dans le rapport rédigé par l'INERIS et datant de 2008 (INERIS, 2008). On notera toutefois le caractère non exhaustif et ponctuel de ces mesures.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

3.4.3 AUTRES SOURCES D'INFORMATIONS

Les émissions en PCB dans l'Atlantique Nord-Est (via les rivières ou les émissions directes) montrent une nette diminution depuis leur interdiction, entre 1998 et 2008 (voir Figure 13 ci-après ; European Environment Agency, 2011).



Figure 13. Evolution des émissions de substances chimiques dans l'Atlantique Nord-Est (European Environment Agency, 2011).

Teil *et al.* (2000) ont étudié les concentrations en PCB dans les eaux en entrée des stations d'épuration de l'agglomération parisienne. Les principales sources d'apports aux collecteurs sont les effluents (domestiques, industriels), les eaux de pluie et de ruissellement et enfin, les eaux de voirie qui collectent les dépôts secs atmosphériques, les poussières dues à l'érosion des bitumes, les résidus de produits pétroliers et divers déchets. 4 épisodes de temps secs et pluvieux ont été étudiés (les échantillons étaient des prélèvements intégrés sur 4 heures). Les concentrations moyennes en PCB mesurées dans les eaux usées des émissaires étaient de l'ordre de 53,1 ng/L (avec une valeur minimale de 15 ng/L et maximale de 182 ng/L). En mars, les concentrations en PCB n'ont pas montré de variation significative entre le temps sec et le temps de pluie tandis qu'au moins de septembre, celles-ci ont augmenté d'un facteur 2. On notera que l'événement pluvieux du mois de mars était plus faible que celui de septembre, respectivement 3 mm et 17 mm.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

La comparaison des profils en PCB (% du congénère 153) entre les échantillons d'eaux et les retombées atmosphériques montre une forte contribution atmosphérique de la contamination des eaux usées par les PCB. Cela est accord avec les valeurs reportées dans la littérature et qui estime qu'environ 80 % des PCB de l'atmosphère en zone urbaine sont transportés en phase vapeur (Teil *et al.*, 2000).

En 2008, les concentrations en PCB mesurées dans les eaux usées urbaines des 5 émissaires arrivant à l'usine d'épuration de Seine aval sont restées inférieures à 54 ng/L (Dargnat et Fisson, 2010).

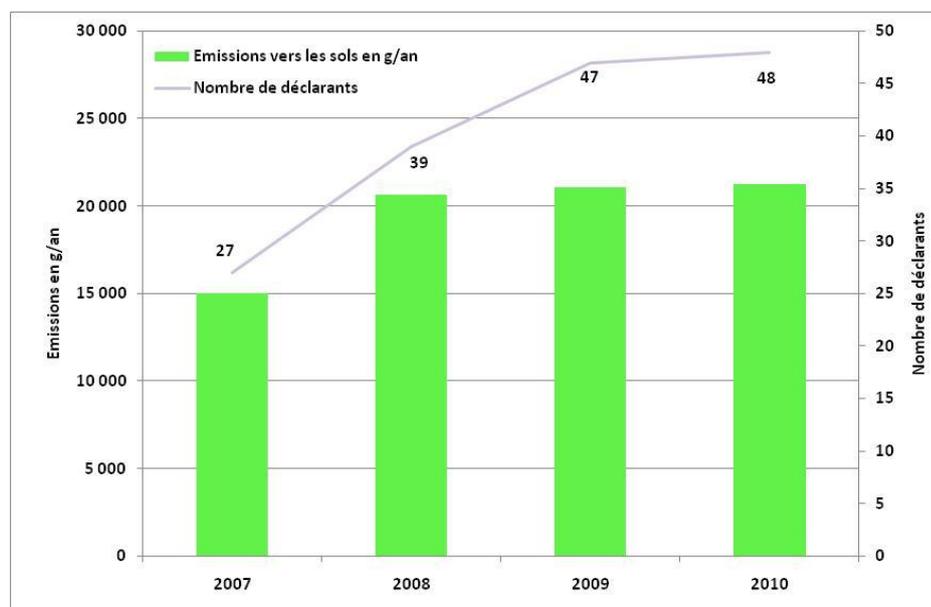
3.5 EMISSIONS VERS LES SOLS

De nos jours, les principales sources de contamination ponctuelle des sols sont les décharges non appropriées (« sauvages »), l'épandage de boues contaminées issues de stations d'épuration, les fuites et les écoulements accidentels ou volontaires provenant des appareils électriques ou de circuits hydrauliques ainsi que les activités de ferrailage (Dargnat et Fisson, 2010). A plus grande échelle et dans une moindre mesure, tous les sols sont contaminés par les dépôts atmosphériques (Garban *et al.*, 2002).

En France, d'après des données issues d'INERIS/IREP (2011)¹⁷, depuis 2008, les émissions vers les sols sont quasiment stable malgré une augmentation du nombre de déclarants (cf. Figure 14 ci-dessous).

¹⁷ Voir les remarques sur les données IREP reportées au paragraphe 3.2.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB



*Valeur corrigée de celle de la station d'épuration d'Angers jugée sujette à caution et de l'établissement Abera

Figure 14. Evolution des émissions déclarées vers les sols (en g/an) (INERIS, 2011).

En 2010, comme nous l'avons vu précédemment, les émetteurs principaux appartiennent aux secteurs de collecte et traitements des eaux usées.

Les répartitions géographiques des déclarants et des émissions déclarées sont présentées sur la Figure 15 ci-dessous.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

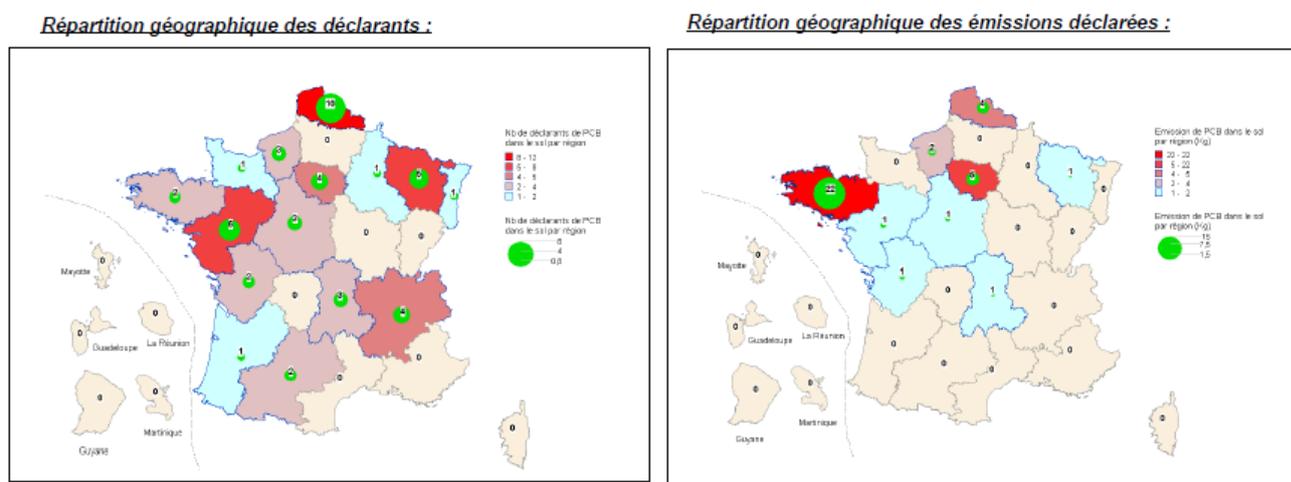


Figure 15. Répartitions géographiques des déclarants et des émissions déclarées pour les sols (INERIS, 2011).

On ne distingue pas de corrélation entre le nombre de déclarants par région et les émissions régionales déclarées.

En Europe, en 2008, le principal émetteur industriel de PCB vers le sol était la France (70 %). Les secteurs significatifs étaient celui du traitement des eaux usées urbaines (60 %) et les abattoirs (37,9 %) (E-PRTR, 2011). Néanmoins, comme nous l'avons vu précédemment, les valeurs déclarées par l'établissement Abera (secteur des abattoirs) sont erronées (cf. paragraphe 3.2).

3.5.1 RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES

L'évolution des concentrations en PCB mesurées dans les retombées atmosphériques à Paris montre une tendance à la diminution entre 1986 (année des premières mesures disponibles) et 2002. Cette évolution est présentée sur la Figure 16 ci-dessous (PIREN Seine, 2009).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

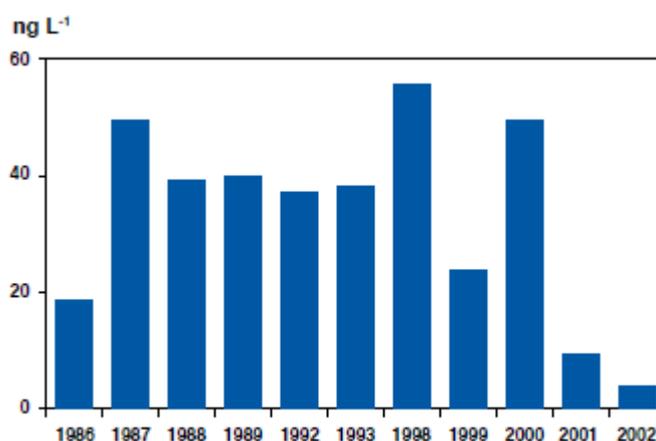


Figure 16. Evolution des concentrations en PCB, exprimées en 7-PCB (moyenne annuelle) dans les retombées atmosphériques totales à Paris (PIREN Seine, 2009).

Le suivi de la contamination atmosphérique a été mis en place à l'échelle européenne à la suite de la convention de Genève (1979) sur les pollutions atmosphériques transfrontières. Cette convention a donné naissance au programme de suivi EMEP (European Monitoring and Evaluation Program). Les stations EMEP produisant régulièrement des données de PCB sont situées en Europe du nord. Il n'existe aucune station active en France ou en Europe du sud.

A partir des mesures effectuées en 2001 sur 4 points du bassin de la Seine (Evreux, Le Havre, Rouen et Notre Dame de Gravenchon), le flux annuel des 7 PCB sur le bassin versant de l'estuaire a été évalué à 135 kg/an. Aucune variation saisonnière n'a été mise en évidence mais la variabilité spatiale s'est révélée importante : les retombées de PCB étant plus fortes à proximité des grands centres urbains et industriels. L'étude de la signature des PCB montre la prédominance des composés les moins chlorés (qui sont les plus volatils - PCB 52 et 101) (Lachambre et Fisson, 2007 ; Motelay-Massei *et al.*, 2002).

Les travaux de Blanchard *et al.* (2007) concernant le bassin de la Seine, mettent en évidence des flux atmosphériques potentiellement importants de PCB. Les estimations, pour le bassin de la Seine couvrant 78 610 km², varient de 1965 à 510 kg/an entre 1999 et 2002. Ce chiffre est très important, en particulier par rapport aux rejets des stations d'épuration vers les sols (via l'épandage de boues d'épuration), estimés dans la même étude à quelques 40 kg/an.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

3.5.2 EMISSIONS DUES AUX BOUES D'EPURATION

Dans le rapport ADEME-SOGREAH, 2007, il est rapporté les teneurs moyennes en composés traces organiques (dont font partie les PCB) des produits d'origine non agricole épandus sur les sols agricoles. Ces valeurs sont présentées dans le Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13. Teneurs en PCB dans les produits épandus sur sols agricoles.

Teneurs en mg/kg MS	Boues d'épuration urbaines	Composts Ordures Ménagères résiduelles	Composts biodéchets ménagers	Boues de papeteries	Limites réglementaires pour les boues
Total 7 PCB	0,38	0,11	0	< 0,5	0,8

En Ile-de-France, l'évolution temporelle des teneurs en PCB dans les boues déshydratées conditionnées thermiquement de l'usine d'épuration Seine aval de 1998 à mars 2009 montre une variabilité assez importante selon les années (cf. Figure 17 ci-après).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

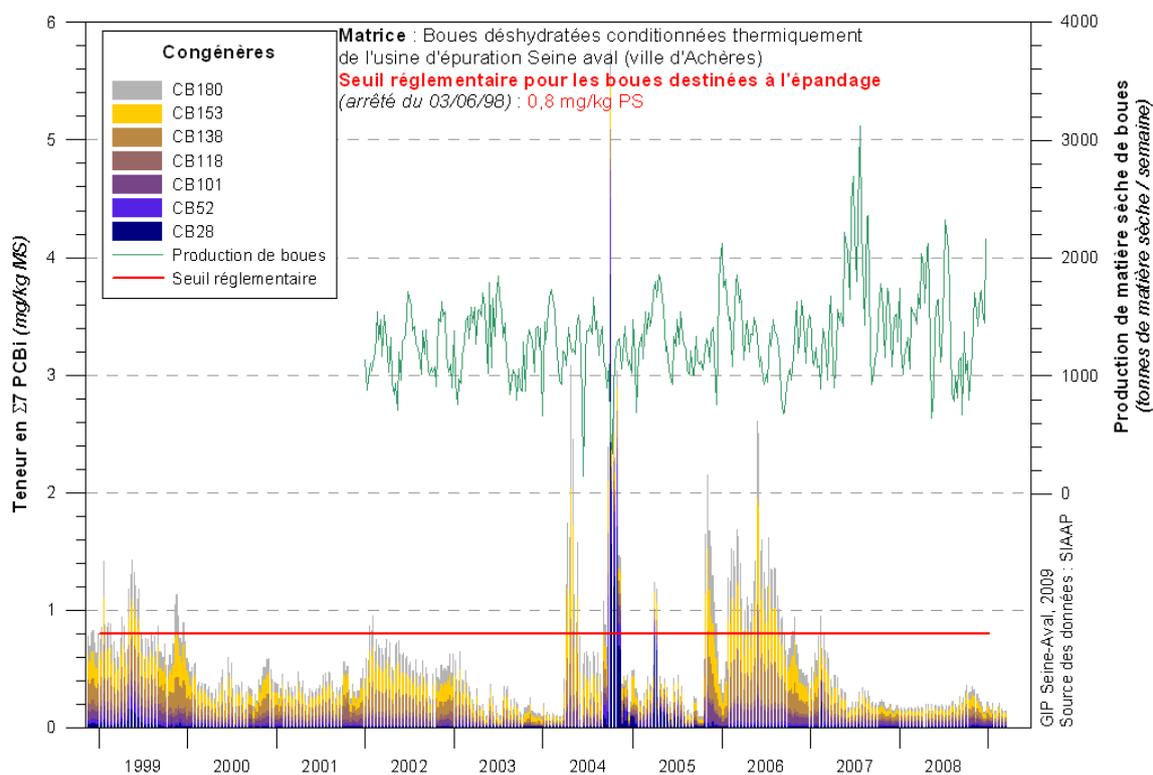


Figure 17. Evolution des teneurs en PCBi dans les boues déshydratées de l'usine d'épuration de Seine aval (source SIAAP citée par Dargnat et Fisson, 2010).

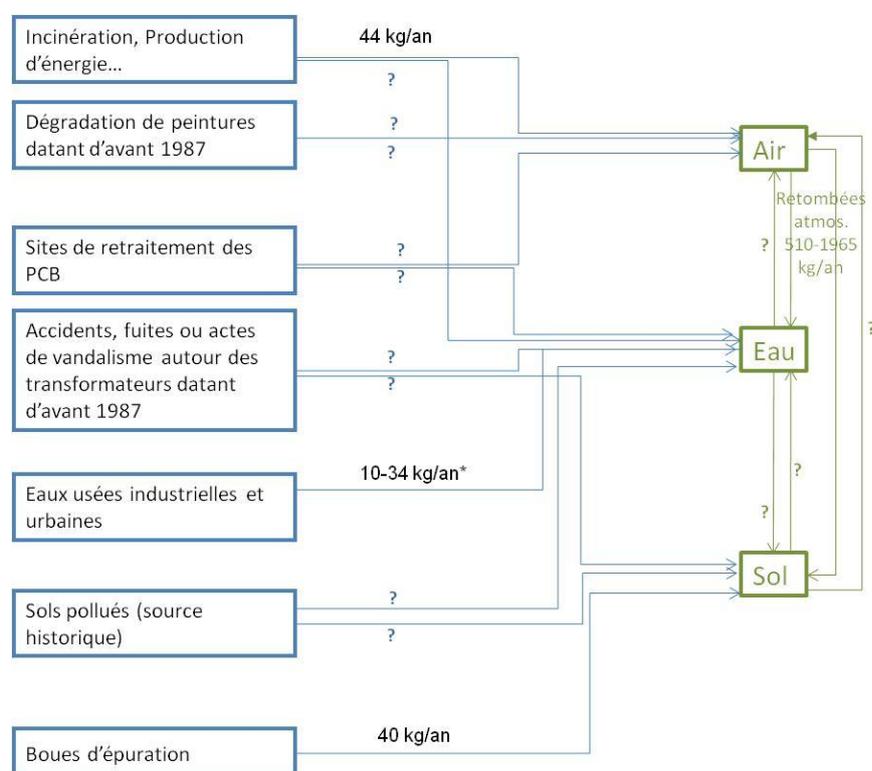
Les teneurs ont ainsi varié de 0,05 à 5,77 mg/kg MS et la teneur moyenne au cours de la décennie était de 0,53 mg/kg MS (nombre d'échantillons égal à 536). Les teneurs sont majoritairement (84 % des mesures) inférieures au seuil réglementaire relatif à l'épandage, fixé à 0,8 mg/kg MS et aucun dépassement n'a été constaté depuis février 2007. Les différents dépassements antérieurs à 2007 n'ont pu être expliqués (origine non déterminée). On notera que lorsqu'il y a un dépassement de la valeur réglementaire, les boues sont envoyées en décharge contrôlée.

En 2007, 81 425 tonnes de matière sèche de boues ont été produites dont la teneur moyenne en PCBi était de 0,34 mg/kg MS. Au cours de la même année, 68 % des boues produites ont été valorisées en agriculture, soit 55 369 tonnes. A partir de ces données, le flux de PCBi apporté aux sols par épandage peut-être estimé à 18,7 kg pour l'année 2007.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Enfin, on notera que les actes de vandalisme, d'abandon de transformateurs ou de personnes à la recherche de métaux via le démantèlement « sauvage » de transformateurs sont également des sources de pollution. Selon les informations recueillies par l'ORS (ORS - Rhône-Alpes, 2008), les rejets « sauvages » ou accidentels seraient, à l'heure actuelle, bien supérieurs aux rejets autorisés. Des friches industrielles, d'anciens ateliers, d'anciens supermarchés, voire d'anciennes décharges, dès lors qu'ils ne sont pas surveillés, constitueraient des réservoirs de pollution, pour peu qu'ils accueillent des transformateurs ou d'autres appareils susceptibles d'être ouverts et vandalisés par des personnes à la recherche de métaux. La DRIRE Rhône-Alpes fait état de plusieurs « événements relatifs aux transformateurs électriques » par an, qu'il s'agisse d'actes de vandalisme, d'abandons ou d'accidents.

La Figure 18 ci-après reprend les différentes émissions de PCB présentées ci-dessus dans les différents milieux environnementaux.



*Issu de Rossi *et al.*, 2004

Figure 18. Emissions de PCB dans l'environnement.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

3.6 EMISSIONS DUES AUX USAGES

A ce jour, l'utilisation des PCB étant réglementée et interdite, les émissions dues aux usages présents sont considérées comme faibles.

Toutefois, comme nous l'avons précédemment, des appareils électriques mis en service avant 1987 sont encore utilisés et donc susceptibles d'émettre des PCB dans l'environnement (cf. paragraphe 3.5).

De plus, une étude norvégienne a été réalisée à partir d'un grand nombre d'échantillons de peinture écaillée prélevés sur différents « vieux » bâtiments de Bergen. Les résultats de cette étude suggère que la peinture peut être une source contemporaine très importante de PCB dans l'environnement urbain avec des concentrations en PCB indicateurs allant jusqu'à 3,39 g/kg (Jartun *et al.*, 2009).

3.7 POLLUTIONS HISTORIQUES

BASOL est une base de données française sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. Le site internet de cette base de données (BASOL, 2011) permet d'effectuer des recherches par substance : la recherche des sites ou sols pollués (ou potentiellement pollués) par l'entrée PCB-PCT (Polychlorobiphényles - Polychloroterphényles) aboutit à un résultat de 291 localisations en France, dont :

- 21 sites traités et libres de toute restriction ;
- 137 sites traités avec surveillance et/ou restriction d'usage ;
- 43 sites en cours de travaux ;
- 71 sites en cours d'évaluation ;
- 17 sites mis en sécurité et devant faire l'objet d'un diagnostic.

Parmi ces sites, 134 ont abouti à un impact dans les eaux souterraines (teneurs anormales) et 1 site à l'arrêt d'un captage d'alimentation en eau potable.

D'après cette même source d'information, les PCB-PCT font d'ailleurs partie des polluants retrouvés (seul ou avec d'autres) dans environ 6,5 % des cas de sites ou sols pollués.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

De plus, selon la base de données ARIA¹⁸ qui recense les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques, l'agriculture, la nature et l'environnement, un peu moins de cent accidents a engendré une pollution aux PCB dans l'environnement (entre le 26 juin 1986 et le 5 juin 2011). La majeure partie des accidents est liée aux incendies, accidentels ou faisant suite à un orage, d'un ou plusieurs transformateurs contenant des PCB. Environ 18 % de ces accidents seraient liés à des actes de vandalisme (BARPI, 2011).

Parmi les accidents recensés dans la base de données ARIA, un d'entre eux a présenté un indice « conséquences environnementales » maximal sur l'échelle européenne des accidents¹⁹ et un second, un indice « matières dangereuses relâchées » maximal. Le premier accident a eu lieu le 22 août 2008 à Saint-Cyprien (42). Dans une usine de recyclage de bois installée sur l'ancien site d'une entreprise de récupération de transformateurs électriques, un feu d'origine inconnue s'est déclaré vers 4 h sur un stock de 2 000 m² de bois. Trois mois ont été nécessaires pour éteindre l'incendie. Les analyses ont révélé d'importantes émissions à l'atmosphère de dioxines et de PCB et une contamination avec dépassements des valeurs limites réglementaires de commercialisation des denrées. La zone de surveillance a été étendue à 40 communes par arrêté préfectoral en mai 2009, puis à 42 communes en août 2009. Les déchets générés lors du sinistre sont constitués pour l'essentiel des stocks de bois broyés et des boues issues du curage des terres.

Le second incident a eu lieu le 18 juin 2001 à Venizel (02). Un feu s'est déclaré vers 2h50 dans le local électrique d'une papeterie. Pris dans les flammes, 4 transformateurs se sont vidés entièrement, un 5^{ème} à moitié ; le diélectrique contenant des PCB s'est dispersé. La quantité de PCB perdue a été évaluée à 600 kg (sur 2 800 kg présents initialement).

3.8 FACTEURS D'EMISSIONS

Berdowski *et al.* (1997) (cités par European Environment Agency, 2009) ont estimé que plus de 94 % des émissions de PCB étaient liées à l'utilisation de matériels électriques (type transformateur, condensateur). Pour les fuites au niveau des transformateurs et des condensateurs, les auteurs rapportent un facteur d'émission compris entre 0,006 et 0,5 g/hab/an.

¹⁸ <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/index.html>

¹⁹ <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/Echelle-europeenne-des-accidents--3309.html>

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Dans le cadre du programme EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme ; voir paragraphe 4.2.1) et concernant la modélisation de la pollution, des facteurs d'émission vers l'atmosphère par défaut ont été définis à partir des données de la littérature. Quelques valeurs issues du rapport Technique n° 16/2007 sont présentées dans le Tableau 14 ci-après.

Tableau 14. Facteurs d'émissions en PCB dans le secteur du traitement et de l'élimination des déchets (extrait de European Environment Agency, 2007).

Source	Facteur d'émission mg/tonne
Incinération des PCB	10 000
Incinération des déchets domestiques ou urbains	5
Incinération de déchets industriels	5
Incinération de déchets hospitaliers	20
Incinération de boues d'épuration	5

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

4 DEVENIR ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

4.1 COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT

Les PCB sont des composés persistants dont les propriétés physico-chimiques varient selon le nombre et la position des atomes de carbone. De manière générale, ces propriétés évoluent avec le degré de chloration, qui augmente leur stabilité. Ainsi, les molécules les plus chlorées sont les plus stables physico-chimiquement et ne sont pas biodégradables (PIREN Seine, 2009). La Figure 19 ci-après présente de façon schématique le cycle des PCB dans l'environnement.

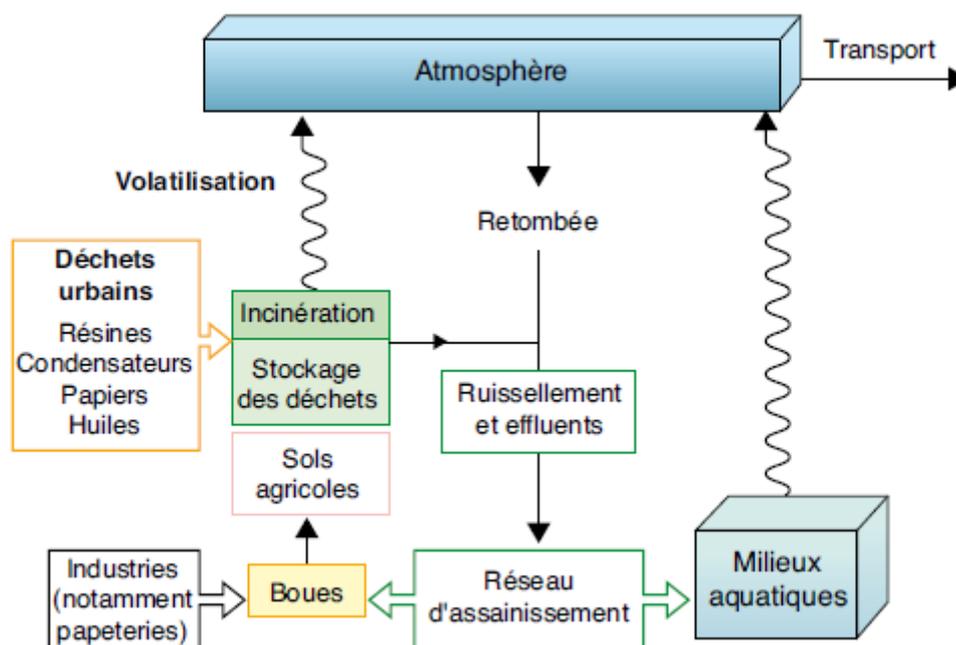


Figure 19. Cycle des PCB dans l'environnement (PIREN Seine, 2009).

Les principales propriétés physico-chimiques (solubilité dans l'eau, coefficient de partage octanol-eau et les temps de demi-vie) sont présentées dans le Tableau 15 ci-après.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 15. Propriétés physico-chimiques des PCB par degré de chloration (Dagnat et Fisson, 2010 issu de Mackay *et al.*, 1992).

	Solubilité dans l'eau (mg/L)	Log K _{ow}	Demi-vie dans l'eau (année)	Demi-vie dans les sédiments / sols (année)	Demi-vie dans l'air (année)
MonoCB	1 - 6	4,3 - 4,6	0,67	2	0,02 (1 sem)
DICB	0,05 - 2	4,9 - 5,3	0,67	2	0,02 (1 sem)
TriCB	0,015 - 0,4	5,5 - 5,9	2	6	0,06 (3 sem)
TetraCB	0,0043 - 0,01	5,5 - 6,3	6	6	0,17
PentaCB	0,004 - 0,02	6,0 - 6,5	6	6	0,17
HexaCB	0,0004 - 0,0007	6,9 - 7,3	6	6	0,67
HeptaCB	0,000045 - 0,0002	6,7 - 7,0	6	6	0,67
OctaCB	0,0002 - 0,0003	7,1 - 7,4	6	6	2
NonaCB	0,00002 - 0,00008	7,2 - 8,2	6	6	2
DecaCB	0,000001	8,3	6	6	6

Ces valeurs sont explicitées et reprises dans les paragraphes ci-après.

4.1.1 DANS LE MILIEU AQUATIQUE

Les PCB sont relativement insolubles dans l'eau et leur solubilité décroît avec l'augmentation du nombre d'atomes de chlore (INERIS, 2005). Néanmoins, dans ce milieu, la solubilité des PCB augmente en présence de matière organique dissoute mais reste globalement faible. Les PCB sont fortement adsorbés sur les particules en suspension et sur les sédiments et ce d'autant plus qu'ils sont fortement chlorés. Cela entraîne un enrichissement relatif de l'eau en PCB faiblement substitués, qui peuvent se volatiliser de façon assez importante sur de longues périodes (demi-vies de volatilisation de 2,5 à 70 heures en rivières) (Lachambre et Fisson, 2007).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Les sédiments s'enrichissent en PCB fortement chlorés et peuvent les mobiliser pendant de longues périodes. Ils peuvent être considérés comme des réservoirs à PCB, d'autant plus que les processus de dégradation abiotiques y sont négligeables (INERIS, 2005 ; Lachambre et Fisson, 2007).

La biodégradation aérobie des PCB faiblement chlorés (mono- et di-substitués) diminue rapidement avec le degré de chloration dans l'eau et les sédiments. Les tétrachlorobiphényles sont ainsi considérés comme persistants et les penta-chlorés et plus comme très persistants (Lachambre et Fisson, 2007).

Dans l'eau, la photolyse est le seul processus abiotique de dégradation des PCB. Elle provoque une perte des atomes de chlore, préférentiellement celles des atomes en position ortho, ce qui entraîne l'augmentation des concentrations en PCB dioxines-like (Lachambre et Fisson, 2007). Les temps de demi-vie des PCB mono à tetra-substitués sont compris entre 17 et 210 jours (ATSDR, 2000).

Mackay *et al.*, 1992 proposent des temps de demi-vie pour les PCB dans l'eau et les sédiments. Ces valeurs sont disponibles dans le Tableau 15 placé ci-avant.

Il existe aussi une biodégradation anaérobie, qui, comme la photolyse, provoque la déchloration des PCB et augmente la concentration des faiblement chlorés (ATSDR, 2000).

En résumé, la biodégradation²⁰ des PCB semble être le stade ultime de dégradation dans le milieu aquatique. L'adsorption sur les phases particulières (sédiments) et la matière organique semble être le processus principal du devenir des PCB dans l'environnement aquatique.

4.1.2 DANS LE MILIEU TERRESTRE

D'une manière générale, dans le milieu terrestre, les mono, di- et trichlorobiphényles sont biodégradés relativement rapidement, les tétrachlorobiphényles sont dégradés lentement, alors que les biphényles fortement substitués sont résistants à la biodégradation (INERIS, 2005). De plus, bien que la biodégradation des biphényles fortement substitués soit possible, aucun autre mécanisme significatif de dégradation abiotique n'est connu dans les conditions environnementales habituelles ; ainsi, la biodégradation serait le stade ultime de dégradation des PCB dans les sols (INERIS, 2005).

²⁰ A noter qu'il est fréquent que les PCB soient associés à d'autres molécules organiques telles que les huiles, les graisses ou des solvants. Ces co-substances, lorsqu'elles sont en quantité importante, peuvent inhiber le processus de déchloration des PCB par biodégradation (Tiedje, J. M., J. F. Quensen, et al. (1993). "Microbial reductive dechlorination of PCBs." *Biodegradation* 4(4): 231-240.).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Les PCB sont faiblement mobiles dans les sols du fait d'une faible solubilité dans l'eau et d'un coefficient de partage K_{ow} élevé (HSDB, 2011). En conséquence, ces polluants sont persistants dans les sols. Leur lixiviation est faible et se fait de façon plus importante pour les composés faiblement chlorés et/ou des sols dont la teneur en carbone organique est faible (INERIS, 2005).

Les valeurs de coefficient de distribution K_d pour les PCB varient en fonction du nombre d'atomes de chlore de la substance considérée : plus ce nombre est important, plus le K_d sera élevé (INERIS, 2005).

La volatilité des PCB est corrélée au nombre d'atomes de chlore du congénère : moins le congénère est chloré, plus il aura tendance à se volatiliser. Dans les sols, la volatilité des PCB est également liée au contenu en matière organique (ATSDR, 2000).

Les taux de volatilisation des PCB sont plus importants dans les sols dont le taux d'humidité est élevé, du fait de la co-vaporisation des PCB et de l'eau (Moza *et al.*, 1976 cités par INERIS, 2005). La volatilisation des PCB depuis le sol conduit à un enrichissement relatif de l'atmosphère en PCB faiblement chlorés (INERIS, 2005).

4.1.3 DANS L'ATMOSPHERE

Les PCB dans l'atmosphère sont en majorité sous forme gazeuse : seulement 7 à 32 % des congénères sont fixés sur les aérosols particuliers, cette fraction augmentant avec le nombre de chlore des molécules (PIREN Seine, 2009).

La volatilisation des PCB à partir de sources diffuses augmente fortement en été, pour autant que ces composés ne soient pas déjà épuisés. En conséquence, les concentrations dans l'air augmentent fortement, notamment pour les composés les plus volatils. Cependant, une température plus élevée favorise également la phase gazeuse par rapport aux aérosols et aux gouttes de pluie (PIREN Seine, 2009).

Des cycles de volatilisation suivis de dépôt dits effet «sauterelle» se produisent de façon répétée entre la surface terrestre et l'atmosphère et peuvent ainsi contribuer au transport de ces contaminants sur de très longues distances. Un phénomène de condensation d'échelle planétaire favorise le piégeage des PCB dans les milieux les plus froids (pôles, hautes montagnes) (PIREN Seine, 2009).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

4.2 PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

Près de trente années après leur interdiction aux Etats-Unis, en France ..., les PCB sont encore largement retrouvés dans l'environnement et ce même dans des zones géographiques reculées (détection en arctique).

Une partie du dépôt des PCB se produit également par temps sec sous forme de particules, par gravité ou piégeage des aérosols sur les sols ou la végétation. En milieu urbain, les précipitations se contaminent de nouveau au contact des surfaces imperméables (chaussées, toitures), en entraînant les dépôts atmosphériques de temps sec vers les eaux de surface (PIREN Seine, 2009).

Les concentrations ubiquitaires dans les différents compartiments environnementaux ont été reportées dans la fiche de données toxicologiques et environnementales des PCB (INERIS, 2005). Ces valeurs sont présentées dans le Tableau 16 ci-après.

Tableau 16. Concentrations ubiquitaires en PCB dans l'environnement (INERIS, 2005).

Milieu	Concentration
Air	< 3 ng/m ³
Eau - eaux de surface, lacs et mers	0,1 à 3 ng/L
Eaux - eaux de pluie/neige	1 à 50 ng/L
Sol	< 3 µg/kg
Sédiments	Nd

Nd : Non déterminé - données disponibles insuffisantes pour évaluer une concentration ubiquitaire.

4.2.1 DANS LE MILIEU AQUATIQUE

En France, de nombreux cours d'eau ont été historiquement contaminés, principalement par les rejets industriels : le Rhône²¹, la Seine, le Rhin, la Moselle et les rivières du nord de la France (ORS - Rhône-Alpes, 2008).

²¹ Concernant le bassin du Rhône, les premières analyses ayant révélé la présence de PCB datent de 1986 et les premières interdictions de consommation de poissons pêchés dans les eaux contaminées du fleuve Rhône datent de 2005 (Meunier, P. (2008). Rapport d'information sur le Rhône et les PCB : une pollution au long cours, Assemblée Nationale. n° 998.).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

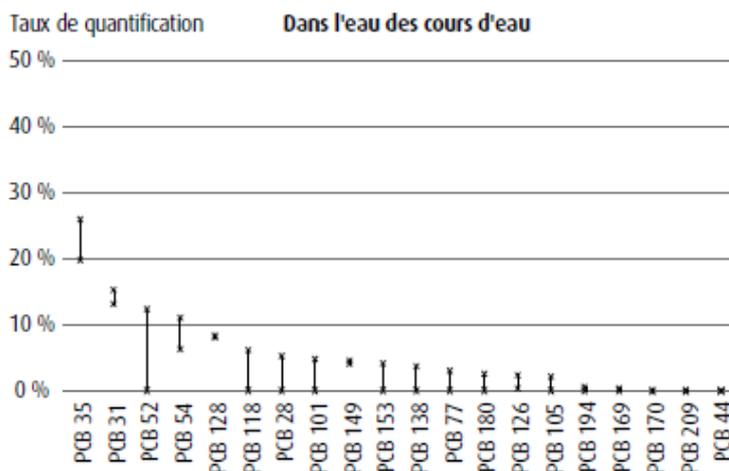
Le Commissariat général au Développement durable a publié en 2011 un bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux sur la période 2007-2009 (CGDD, 2011). Cette action s'inscrit dans le Plan national micropolluants 2010-2013 et son objectif est de valoriser les données de surveillance acquises et de disposer d'une photographie des micropolluants présents dans les milieux aquatiques afin de contribuer à la définition de nouvelles actions. Ce bilan porte sur les données acquises en France métropolitaine et dans les cinq DOM, sur les années 2007 à 2009, pour les eaux superficielles, dont leurs sédiments, et les eaux souterraines.

Les données utilisées sont issues des réseaux de surveillance mis en place par les agences de l'eau en métropole et par les offices de l'eau dans les DOM. Les HAP sont largement quantifiés dans les cours d'eau métropolitains, auxquels s'ajoutent dans les sédiments les retardateurs de flamme de type PBDE et les PCB.

Les principaux résultats sont les suivants :

- Les PCB sont plus quantifiés en métropole que dans les DOM, notamment dans les cours d'eau (cf. Figure 20 ci-après) et leurs sédiments ;
- 4 congénères PCB sont quantifiés sur plus de 10 % des analyses dans l'eau des cours d'eau métropolitains, et 2 dans tous les bassins : PCB 35 et 31 ;
- Les quantifications de PCB dans l'eau des plans d'eau sont très faibles : de l'ordre de 1 % et concernent peu de congénères ;
- Dans les eaux souterraines, les PCB ne sont que très peu retrouvés, leurs taux de quantification étant toujours inférieur à 1% ;
- Dans les sédiments de métropole, les quantifications sont plus importantes que dans ceux des DOM : 7 congénères se dégagent, quantifiés à plus de 25 % des analyses, au moins une année, que ce soit dans les sédiments des plans d'eau ou ceux des cours d'eau : PCB 101, 118, 138, 153, 180, 170 et 149. Parmi ces congénères, le PCB 153 est le plus quantifié dans les sédiments des cours d'eau et le 2^{ème}, derrière le PCB 149, dans ceux des plans d'eau. Des valeurs importantes sont relevées dans le Nord, le Nord-est et le long du Rhône (cf. Figure 21 ci-après).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB



Source : agences de l'Eau, 2010 - Traitements : SOeS, 2011

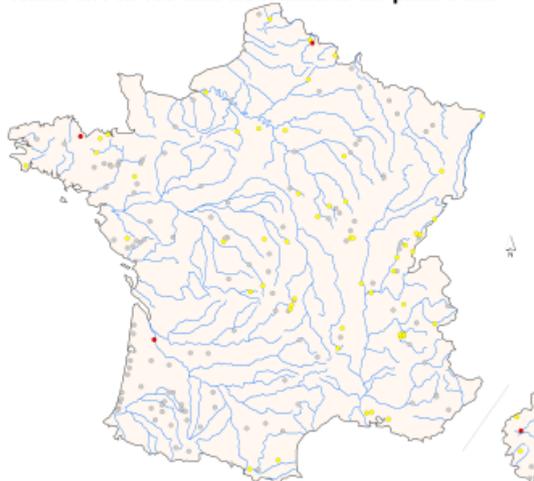
Figure 20. Taux de quantification des PCB dans l'eau des cours d'eau de métropole 2007-2009 (CGDD, 2011).

Teneur en PCB153 dans les sédiments des cours d'eau



Source : Agences de l'Eau - Offices de l'eau, 2010. Traitements : SOeS, 2011.

Teneur en PCB 153 dans les sédiments des plans d'eau



Source : Agences de l'Eau - Offices de l'eau, 2010. Traitements : SOeS, 2011.

Figure 21. Concentrations moyennes en PCB 153 dans les sédiments des cours d'eau et plans d'eau, en 2009 (CGDD, 2011).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

○ Les stations d'épuration

Teil *et al.* (2000) ont étudié les concentrations en PCB dans les eaux en entrée des stations d'épuration de l'agglomération parisienne. Les principales sources d'apports aux collecteurs sont les effluents (domestiques, industriels), les eaux de pluie et de ruissellement et enfin, les eaux de voirie qui collectent les dépôts secs atmosphériques, les poussières dues à l'érosion des bitumes, les résidus de produits pétroliers et divers déchets. 4 épisodes de temps secs et pluvieux ont été étudiés (les échantillons étaient des prélèvements intégrés sur 4 heures). Les concentrations moyennes en PCB mesurées dans les eaux usées des émissaires étaient de l'ordre de 53,1 ng/L (avec une valeur minimale de 15 ng/L et maximale de 182 ng/L). En mars, les concentrations en PCB n'ont pas montré de variation significative entre le temps sec et le temps de pluie tandis qu'au moins de septembre, celles-ci ont augmenté d'un facteur 2. On notera que l'événement pluvieux du mois de mars était plus faible que celui de septembre, respectivement 3 mm et 17 mm.

La comparaison des profils en PCB (% du congénère 153) entre les échantillons d'eaux et les retombées atmosphériques montre une forte contribution atmosphérique de la contamination des eaux usées par les PCB. Cela est accord avec les valeurs reportées dans la littérature et qui estime qu'environ 80 % des PCB de l'atmosphère en zone urbaine sont transportés en phase vapeur (Teil *et al.*, 2000).

En 2008, les concentrations en PCB mesurées dans les eaux usées urbaines des 5 émissaires arrivant à l'usine d'épuration de Seine aval sont restées inférieures à 54 ng/L (Dargnat et Fisson, 2010).

○ Les eaux marines

EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) est un programme de coopération pour la surveillance continue et l'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (observation et modélisation des pollutions atmosphériques et de la formation de l'ozone, des polluants organiques persistants, des métaux lourds et des particules.). Il est mené dans le cadre de la Convention de Genève et permet, dans des zones éloignées de toute source de pollution, d'effectuer une surveillance continue des dépôts humides et des polluants gazeux et particulaires présents dans l'atmosphère. Dans le cadre de ce programme, la répartition spatiale de la concentration moyenne annuelle de PCB-153 a été modélisée dans la couche de surface marine pour l'année 2009. Ces résultats sont présentés sur la Figure 22 ci-après (Amann *et al.*, 2011).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

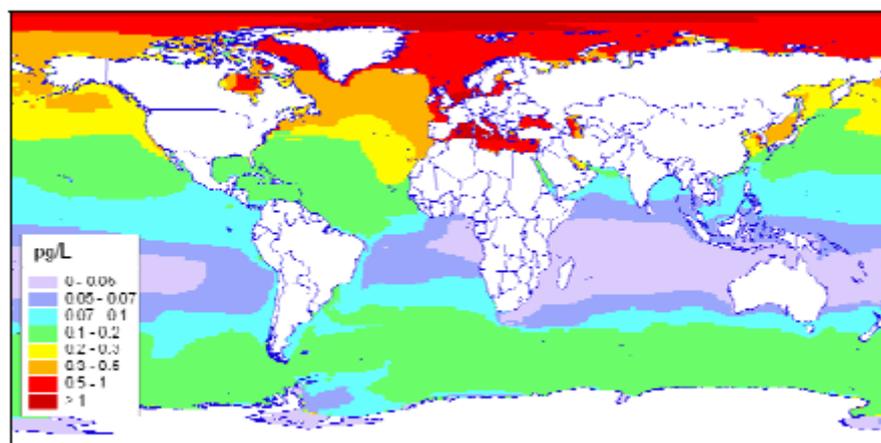


Figure 22. Distribution spatiale en PCB-153 dans la couche supérieure marine (Amann *et al.*, 2011).

Cette distribution spatiale met en évidence une dépendance latitudinale du niveau de pollution en PCB-153. Les valeurs marines les plus élevées (plus de 0,5 pg/L) ont été obtenues pour les régions de hautes latitudes. En effet, les flux air-eau sont fortement dépendants de la température : plus la température atmosphérique est basse, plus le flux air-eau est important. Les concentrations marines en PCB-153 dans la région de l'Antarctique sont plus élevées que ceux dans les régions équatoriales.

○ Les sédiments fluviaux

Une base d'analyses chimiques de sédiments fluviaux a été constituée à partir des données des Voies Navigables de France, des Agences de l'Eau Adour Garonne, Artois Picardie, Loire Bretagne, Rhin Meuse et Rhône Méditerranée Corse, ainsi que des données du Service Public de Wallonie (Belgique). Cette base de données compte 314 856 lignes et 12 850 échantillons couvrant une période de 28 ans. Un rapport de l'INERIS (2010a) présente les données d'analyses (dont notamment les PCB) disponibles dans les sédiments fluviaux. Un classement réglementaire a également été établi le cas échéant. En effet, l'arrêté du 9 août 2006 définit des seuils de qualité des sédiments de dragage issus de cours d'eau et de canaux de navigation vis-à-vis de différents paramètres. Les seuils de qualité influencent le régime de l'opération de dragage (autorisation ou déclaration) : concernant les PCB totaux (somme des 7 PCB), le seuil S1 est fixé à 0,68 mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction < 2 mm.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

La teneur médiane en PCB (somme des 7 PCB) est de 0,057 mg/kg (valeur inférieure au seuil réglementaire S1). Une valeur maximale de 798 mg/kg a été enregistrée. Les concentrations médianes en PCB (somme des 7 PCB en mg/kg) par origine géographique ont été reportées sur la Figure 23 ci-dessous.

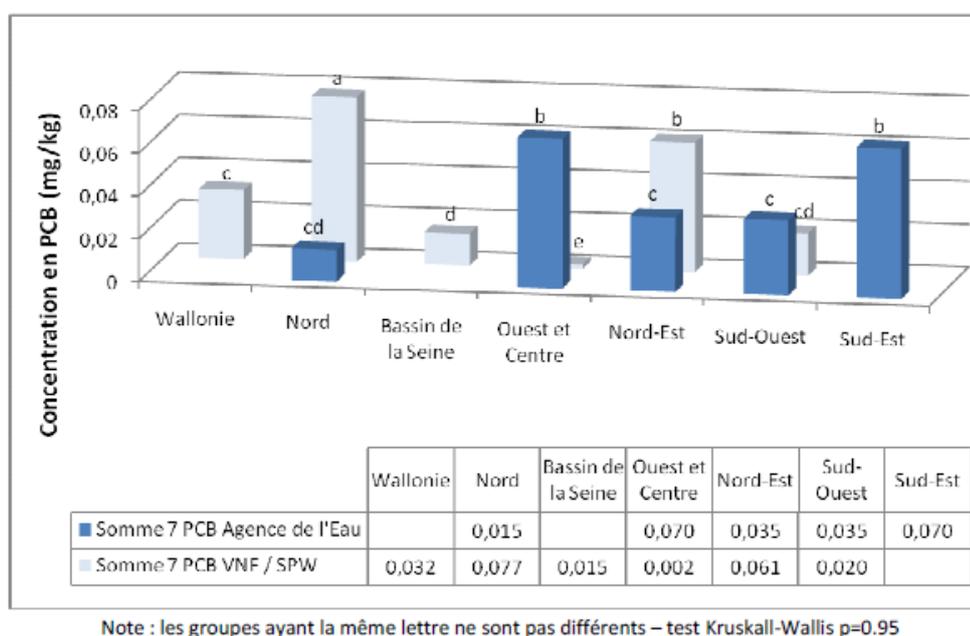


Figure 23. Concentrations médianes en PCB par origine géographique (INERIS, 2010a).

Les concentrations médianes de la somme des 7 PCB sont faibles et représentent au maximum environ 1/10 de la valeur seuil S1 de 0,68 mg/kg. A l'inverse de tous les autres paramètres, sauf dans le Nord, les agences de l'eau obtiennent des concentrations médianes en PCB plus importantes que les Directions VNF -Voies Navigables de France (INERIS, 2010a).

On notera qu'un site d'information présentant la teneur en PCB des poissons et des sédiments dans les cours d'eau et plans d'eau français a été mis en ligne : <http://www.pollutions.eaufrance.fr/pcb/>. Il permet de visualiser les données issues des prélèvements réalisés sur plus de 100 sites d'échantillonnage en 2008 par bassin hydrographique ou par région.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

○ Les sédiments marins

Un travail similaire a été réalisé pour les sédiments marins (notamment analyses des données pour 7 PCB). Cette base de données a été établie à partir du Réseau de surveillance de Ports Maritimes (REPOM) animé par l'IFREMER et de deux projets de caractérisation et de traitement de sédiments (PROSED et SEDIMARD). Elle comporte 27 538 données pour 818 échantillons, sur une période allant de 1996 à 2008 (INERIS, 2010b).

Une comparaison avec les seuils réglementaires N1 et N2 pour les sédiments marins (article 1^{er} de l'arrêté du 9 août 2006) a également été réalisée. Concernant les PCB, ces seuils sont présentés dans le Tableau 4 -partie 1.3.3.

La teneur médiane en PCB (somme de 7 PCB) est de 0,010 mg/kg. 60 % des mesures en PCB sont inférieures à la limite de quantification. Les 7 congénères réglementaires de PCB en France sont mesurés dans 56 % des échantillons. Les concentrations en PCB sont relativement faibles au regard des seuils N1 et N2, avec des valeurs moyennes inférieures aux seuils N1, moins de 10 % des valeurs \geq N2.

La confrontation des données issues de 118 lieux différents a mis en évidence une importante variation des concentrations en contaminants pour un même lieu au cours des années pour les métaux (cadmium, cuivre, mercure et zinc), les PCB et le TBT.

Les concentrations médianes pour les 7 PCB réglementaires par département sont présentées sur la Figure 24 ci-dessous.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

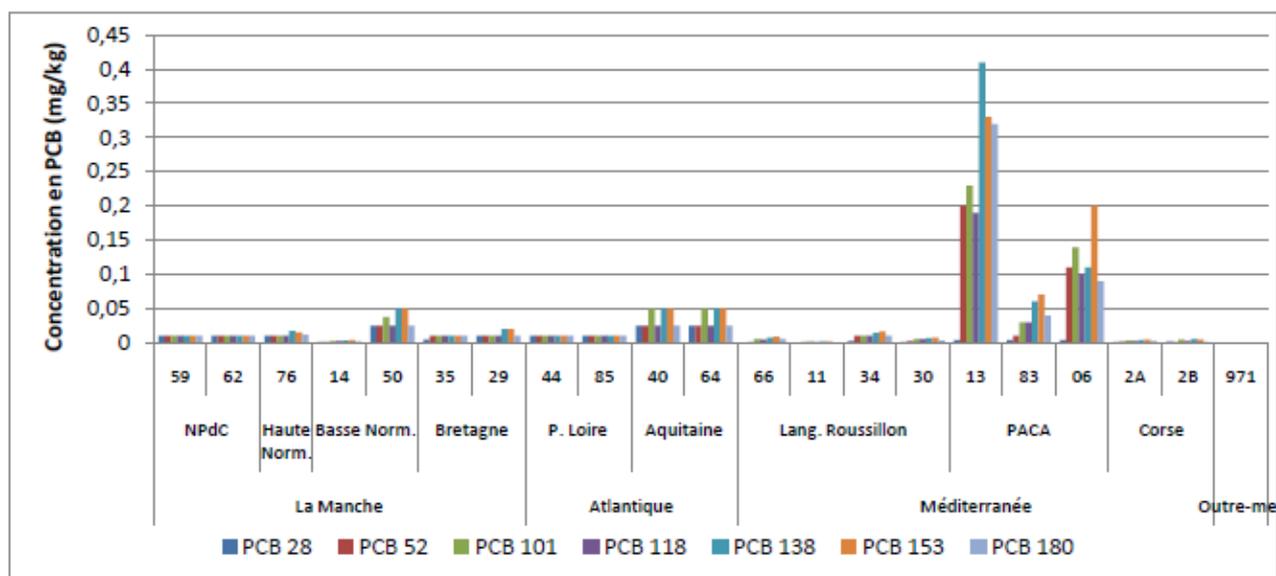


Figure 24. Concentrations médianes pour les 7 congénères réglementaires en PCB (mg/kg MS) par département (INERIS, 2010b).

Les concentrations médianes en PCB mettent en évidence deux départements avec des concentrations supérieures aux valeurs seuils N1 et N2 : les Bouches-du-Rhône (13) et les Alpes-Maritimes (06), où 5 des 7 congénères présentent des teneurs supérieures aux seuils N2 (excepté pour le PCB 28 et le PCB 52). Les concentrations en PCB sont plus importantes sur la façade méditerranéenne et principalement dans les départements de la région PACA (on notera que l'embouchure du Rhône se situe dans les Bouches-du-Rhône). Les meilleures corrélations entre les polluants relient notamment le PCB 153 et 138.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

4.2.2 DANS LE MILIEU TERRESTRE

Dans le cadre du programme EMEP, la répartition spatiale de la concentration moyenne annuelle de PCB-153 a été modélisée dans les sols (5 premiers centimètres) pour l'année 2009. Ces résultats sont présentés sur la Figure 25 ci-après (Amann *et al.*, 2011).

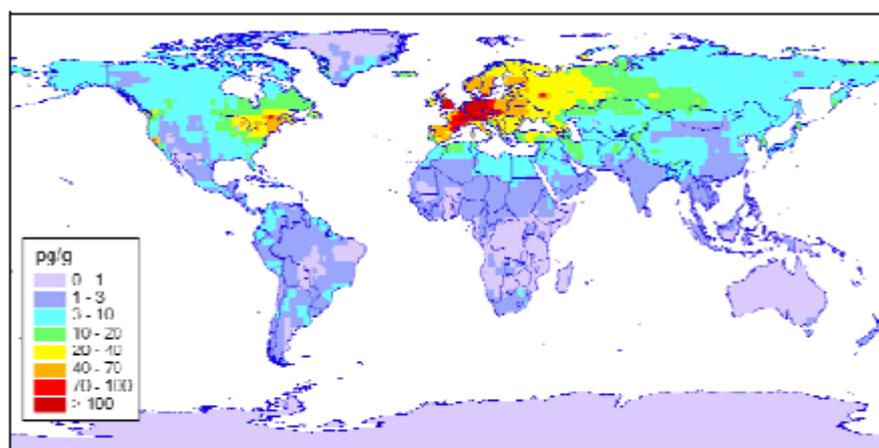


Figure 25. Distribution spatiale des concentrations en PCB -153 dans les sols (Amann *et al.*, 2011).

Des niveaux élevés de PCB-153 dans le sol sont notés en Europe et l'Amérique du Nord (régions où les émissions anthropiques sont maximales) avec des concentrations maximales (plus de 100 pg/g) en Europe centrale. Des niveaux de fond de l'ordre de 20 à 70 pg/g sont enregistrés en Europe et de l'ordre de 3-10 pg/g pour l'Amérique du Nord.

Une comparaison entre les concentrations mesurées et modélisées a été établie. En général, les valeurs mesurées dépassent, de manière significative, celles calculées (en raison d'un fort gradient vertical des concentrations en PCB-153 dans le sol et un manque de résolution spatiale verticale de la grille du modèle).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

4.2.3 DANS L'ATMOSPHERE

Bien que leur usage soit interdit depuis plusieurs années leur présence dans l'atmosphère s'explique par des processus de volatilisation à partir de certains composés utilisés dans le bâtiment, ou de déchets urbains en décharge ou incinérés, ou encore à partir de sols sur lesquels des boues de stations d'épuration ont été épandues. De plus, par leur stabilité dans l'atmosphère, ces composés peuvent être transportés sur de très longues distances et donc provenir de sources éloignées, au niveau du continent ou au delà. Cela explique que l'on peut les retrouver indifféremment en milieu urbain ou en milieu rural (cf. études du PIREN - <http://www.sisyphes.upmc.fr/piren/>).

Les concentrations de PCB dans l'air ont fortement diminué à Paris depuis 1986, date des premières mesures disponibles. En 2003, elles représentaient environ 5 % des concentrations mesurées en 1986 (PIREN Seine, 2009). L'évolution des concentrations atmosphériques en PCB à Paris entre 1986 et 2003 est présentée sur la Figure 26 ci-dessous.

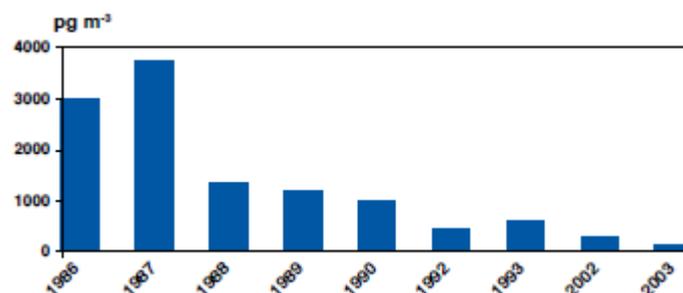


Figure 26. Evolution des concentrations en PCB, exprimées en 7-PCB dans les l'air de Paris de 1986 à 2003, concentrations gazeuses et fixées sur les aérosols confondues (PIREN Seine, 2009).

Les concentrations mesurées en 2002 et 2003 sont comparables aux ordres de grandeur mesurés dans d'autres grandes agglomérations européennes comme à Birmingham et Barcelone soit de 60 à 120 pg/m³ (Harrad et Mao, 2004 et Mari *et al.*, 2008).

Dans le cadre du programme EMEP, la répartition spatiale de la concentration atmosphérique moyenne annuelle de PCB-153 a été modélisée pour l'année 2009. Ces résultats sont présentés sur la Figure 27 ci-après (Amann *et al.*, 2011).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

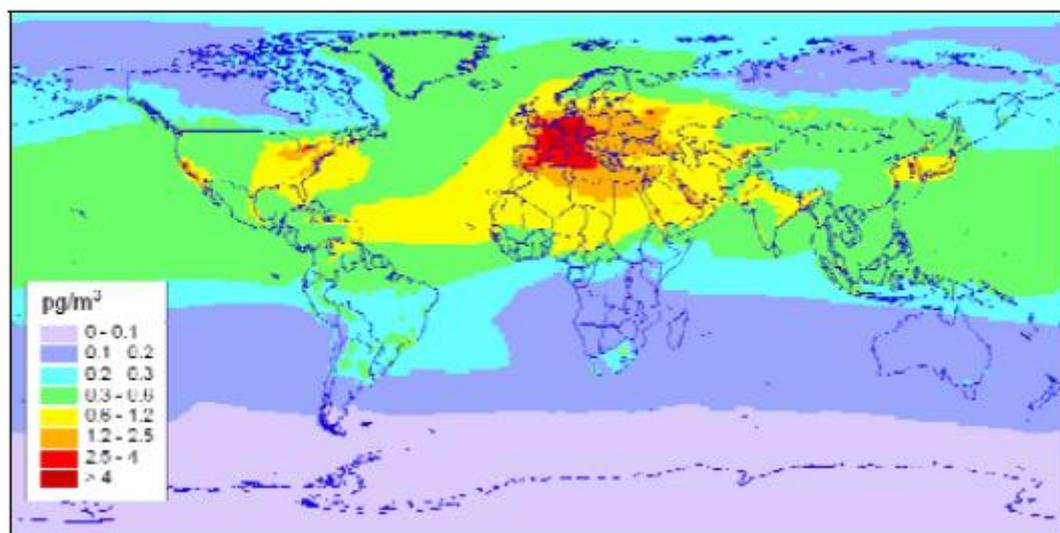


Figure 27. Distribution spatiale de la concentration atmosphérique en PCB-153 (Amann *et al.*, 2011).

Les niveaux élevés de contamination en PCB-153 sont une caractéristique de l'Europe et l'Amérique du Nord. Dans la partie centrale la plus polluée d'Europe, les concentrations atmosphériques dépassent 4 pg/m^3 . Concernant l'hémisphère sud, les concentrations atmosphériques en PCB-153 sont relativement faibles (0,1-0,3 pg/m^3).

Une comparaison modèle/observations a également été réalisée. La valeur moyenne annuelle moyenne modélisée (1,50 pg/m^3) est très proche de celle mesurée (1,55 pg/m^3). Une forte corrélation spatiale des concentrations atmosphériques moyennes annuelles modélisées et mesurées est établie (coefficient de corrélation linéaire de 0,88).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

5 PERSPECTIVES DE RÉDUCTION DES EMISSIONS

Dans cette section, les alternatives à l'utilisation des PCB dans les différents secteurs d'activité ne seront pas traitées étant donné que les PCB sont interdits d'usage depuis 1987. Seules les techniques de réduction, de traitement et de décontamination seront abordées ci-après.

5.1 BILAN DU PLAN NATIONAL DE DECONTAMINATION ET D'ELIMINATION DES APPAREILS CONTENANT DES PCB/PCT ET TRAITEMENT DES DECHETS

5.1.1 BILAN DU PLAN NATIONAL DE DECONTAMINATION ET D'ELIMINATION DES APPAREILS CONTENANT DES PCB/PCT

Comme précisé dans le paragraphe 1.2.4, le décret du 18 janvier 2001 prévoit la réalisation d'un plan national de décontamination et d'élimination des appareils contenant des PCB et PCT : l'échéance finale pour l'élimination des appareils pollués au-delà de 500 ppm est fixée, pour l'ensemble de l'Union européenne, au 31 décembre 2010.

Sur la base des données fournies par chaque département, l'ADEME a réalisé l'inventaire national des appareils contenant des PCB. Ce nombre d'appareils inventoriés en France est de 545 610 appareils.

Selon le rapport du Comité de suivi du plan d'actions PCB (Comité de suivi du plan d'actions PCB, 2010), le bilan de décontamination et d'élimination est le suivant :

- Au niveau des détenteurs de plus de 300 appareils : au 31 décembre 2009, hors EDF ; 15 721 sur 17 950 appareils concernés par l'échéance du 31 décembre 2010 ont été éliminés au niveau national soit plus de 87 % des appareils. A noter qu'EDF estime à environ 70 000 le nombre d'appareils à éliminer ou dépolluer. Plus de 31 000 appareils EDF restent à traiter en 2010 (45%) ;
- 109 entreprises détenant moins de 300 appareils ont également un Plan Particulier d'Élimination (dont 10 régies et sociétés distributrices d'électricité). Au 31 décembre 2009, le nombre total d'appareils déjà éliminés était de 2602 (80% du total), hors régies distributrices d'électricité ;

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- 4 358 autres détenteurs sont actuellement identifiés (particuliers, services publics, entreprises, etc.), comme détenant des appareils contaminés ou susceptibles d'être pollués. Les échéances d'élimination ou de décontamination de ces appareils dépendent du niveau de maintenance et du critère d'âge des appareils et s'échelonnent jusqu'au 31/12/2010. Le nombre d'appareils relevant de ce régime était initialement estimé à 66 000 d'après l'ADEME.

5.1.2 TRAITEMENT DES DECHETS

5.1.2.1 TRANSFORMATEURS ET CONDENSATEURS

Tout détenteur de déchets contenant des PCB est tenu de les faire traiter soit par une entreprise agréée soit dans une installation qui a obtenu une autorisation dans un autre Etat membre de la Communauté (article 10 du décret n° 87-59 du 2 février 1987 modifié).

Par conséquent, seule une entreprise de traitement ou de décontamination de déchets contenant des PCB (fixe ou mobile), agréée par arrêté préfectoral et autorisée au titre des ICPE peut assurer l'élimination de ces produits (cf. Tableau 17 ci-après).

Sur le site internet du Ministère de l'Ecologie, du développement durable, des transports et du logement, sont indiquées les principales procédures à suivre en cas de possession d'un appareil contenant ou susceptible de contenir des PCB / PCT : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Vous-etes-detenteur-d-un-appareil,12540.html>.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 17. Entreprises agréées pour le traitement ou la décontamination des PCB au niveau national²².

Entreprise	Localisation	Unité	Activité
ARKEMA	St Auban (04)	Fixe	Elimination
APPROCHIM SA	Grez en Bouère(53)	Fixe	Elimination/décontamination
TREDI	St Vulbas (01)	Fixe	Elimination/décontamination
	Hombourg (68)	Mobile	Décontamination
	Izeaux (38)	Fixe	Décontamination
DAFFOS ET BEAUDASSE SARL	Villeurbanne (69)	Mobile	Décontamination
SEA MARCONI France SARL	Joeuf (54)	Mobile	Décontamination
CLIMATELEC	Vertou (44)	Mobile	Décontamination
CONTIREP SAS	Oissel (76)	Fixe	Décontamination
SONOMATRA SAS	St Leonard (76)	Mobile	Décontamination
TRANSFO EST SARL	Maizières-Lès-Metz (57)	Fixe	Décontamination
TRANSFO SERVICES	Chateaubourg (35)	Fixe	Décontamination
	Arles (13)	Fixe	Décontamination
	Villepinte (93) - <i>ex Septra</i> TECAME	Mobile	Décontamination
EURO DIEUZE INDUSTRIE	Dieuze (57)	Mobile	Décontamination
CEW	Meung-sur-Loire (45)	Fixe	Décontamination

Les centres de traitement sont agréés à la fois pour :

- i) la décontamination des appareils par lavage au solvant en autoclave sous vide (les résidus de décontamination sont incinérés et les matériaux métalliques récupérés) ;
- ii) l'incinération des PCB et PCT ou des fluides. Dans ce cas, les centres sont équipés d'un dispositif d'épuration des fumées.

²² http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/Liste_des_entreprises_traitant_les_appareils_aux_PCB_cle721a62.pdf

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Les opérations d'incinération requièrent des conditions spécifiques : température supérieure à 1 200°C et temps de séjour des gaz à cette température supérieur ou égal à 2 secondes. Les gaz sont ensuite neutralisés à la chaux. Le rendement de l'incinération doit être au moins égal à 99,999 % (Dargnat et Fisson, 2010 ; Commission Européenne, 2006a).

Selon la Commission Européenne (2006b), les technologies pour le nettoyage des transformateurs peuvent se diviser en trois catégories principales :

- Vidange des huiles contenant des PCB issues des transformateurs, suivie d'une décontamination de l'huile et d'une réinjection du produit nettoyé dans le transformateur en vue de sa réutilisation ;
- Extraction des huiles contenant des PCB par un lavage au solvant du transformateur, suivi de son démantèlement et d'une décontamination supplémentaire des composants pour permettre le recyclage des composants métalliques ;
- Après un pré-traitement approprié, les huiles contenant des PCB peuvent être traitées à l'hydrogène à des températures élevées.

Les techniques utilisées pour le nettoyage des condensateurs sont les suivantes (Commission Européenne, 2006b):

- Le boîtier du condensateur est démonté et décontaminé par un lavage au solvant ; il s'agit d'un procédé de décontamination directe étant donné que le boîtier n'est pas poreux. Le cœur est incinéré ;
- Il existe la possibilité de poursuivre le traitement par une étape supplémentaire et de traiter le cœur après l'avoir extrait du boîtier. Cette étape de décontamination implique habituellement un broyage du cœur et un traitement avec un solvant. Il est ainsi possible de réduire le niveau des PCB résiduels ;
- La technologie qui permet la plus grande quantité de recyclage est semblable à celle décrite ci-dessus mais elle traite également le mélange de résidu d'aluminium/plastique/papier pour séparer ces composants, par un lavage au solvant. L'aluminium métallique peut ensuite être réutilisé ; le seul composant devant être éliminé est le mélange de parcelles de papier/plastique.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Selon l'ADEME²³, le traitement des déchets contenant des PCB est cher, à savoir :

- pour une concentration en PCB comprise entre 50 et 500 ppm, le prix est de 0,74 euros/kg (masse totale du transformateur) ;
- pour une concentration en PCB supérieure à 500 ppm, le prix atteint 1,24 euros/kg (masse totale du transformateur).

Lors d'une opération de retro-remplissage ou retrofilling²⁴, les fluides de remplacement pouvant être utilisés sont les huiles minérales, les huiles silicones, les alkylbenzènes, le benzyltoluène et le dibenzyltoluène (Cravedi et Narbonne, 2002).

On notera que l'UNEP en 2002 a édité un rapport dont l'objectif était de servir de guide sur la gestion, le reclassement et l'élimination des transformateurs et des condensateurs : « Les transformateurs et condensateurs contaminés par les PCB - de la gestion au reclassement et à l'élimination ».

5.1.2.2 AUTRES DECHETS (PEINTURES, JOINTS...)

- o Suisse

En Suisse, les efforts à déployer pour diminuer la charge en PCB dans l'environnement se situent à trois niveaux (OFEV, 2012) :

- Éliminer au fur et à mesure et dans les règles de l'art les sources de pollution restantes (appareils et installations électriques, peintures et vernis, masses d'étanchéité des joints, PCB dans les revêtements anticorrosion) ;
- Identifier et éliminer les sources de pollution supplémentaires (anciennes décharges ou sites d'exploitation contaminés par exemple) ;
- Réduire les stocks dans les autres pays pour diminuer la pollution transfrontière.

²³ <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=14521> (site consulté en novembre 2011).

²⁴ Le retrofilling est un procédé de dépollution par substitution du fluide. Ce procédé consiste à remplacer l'huile contaminée par une huile neuve. Il faut alors vider, égoutter, rincer et remettre en huile le transformateur.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Concernant l'utilisation passée des PCB dans les peintures et les vernis, l'OFEV²⁵ préconise que « lorsque l'on peut supposer que d'anciens revêtements ou des panneaux acoustiques, à l'intérieur des bâtiments, contiennent des PCB, il faut les faire analyser suffisamment tôt avant de procéder à l'assainissement de la construction. Ces revêtements doivent être enlevés par des spécialistes qui appliquent le procédé et les mesures de protection adéquats, de manière à ce que les ouvriers et l'environnement n'entrent pas en contact avec des poussières, des aérosols et des déchets contenant des PCB ».

Concernant les masses d'étanchéité des joints, l'OFEV préconise qu'« avant tout assainissement de bâtiments construits entre 1955 et 1975, il convient donc d'examiner suffisamment tôt si l'on a utilisé des masses d'étanchéité contenant des PCB. Si tel est le cas, il faut établir un concept d'assainissement et d'élimination. Lors de l'assainissement, des mesures spécifiques doivent être prises pour protéger les ouvriers et l'environnement ».

Dans tous les cas, il est également préconisé un assainissement anticipé lorsque la valeur annuelle moyenne de l'air ambiant dépasse 6 microgrammes par m³. Cette limite s'applique aux locaux où l'on séjourne durant la journée, comme les écoles et les bâtiments administratifs. Pour les locaux de séjour de longue durée, comme les bâtiments d'habitation et les résidences, on applique une valeur indicative de 2 microgrammes par m³ d'air ambiant ».

Enfin les travaux d'assainissement de la protection anticorrosion qui portent sur plus de 50 m² doivent être annoncés au service cantonal compétent. Les anciens revêtements contenant des PCB doivent être enlevés en appliquant une méthode de travail et des mesures de protection adéquates, de manière à ce que les matériaux de sablage contenant des PCB menacent le moins possible les ouvriers et l'environnement. En raison du risque de formation de dioxines et de furanes très toxiques sous l'effet de la chaleur, aucun traitement thermique (au chalumeau, par exemple) n'est autorisé avant que les anciens revêtements contenant des PCB aient été enlevés.

- Etude Norvégienne (Jartun *et al.*, 2009)

Comme nous l'avons vu précédemment (voir paragraphe 3.6), une étude norvégienne a mis en évidence des émissions de PCB liées à la détérioration de certaines anciennes peintures (Jartun *et al.*, 2009). Selon les auteurs de cette étude, cette présence des PCB dans les peintures peut avoir potentiellement d'importantes implications pour une variété de sujets, dont :

- les stratégies de gestion sur la réhabilitation / démolition et l'élimination des déchets ;

²⁵ OFEV : Office Fédéral de l'Environnement (Suisse).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- la contribution au potentiel des inventaires de sources contemporaines ;
- les stratégies locales de remédiation des sédiments marins ;
- la possible exposition humaine aux PCB.

Afin d'identifier sans danger les matériaux de construction contenant des PCB, les auteurs de l'étude préconise une analyse obligatoire d'un certain nombre d'échantillons de matériaux de construction (peintures, mortiers, plâtre et mastics) d'un bâtiment susceptible d'être rénové ou démolit. Cela leur semble particulièrement important pour les bâtiments construits ou rénovés entre 1950 et 1970.

○ France

L'ONEMA, dans son rapport de 2011, indique qu'il est nécessaire de mieux connaître les différentes sources de PCB et d'en quantifier les contributions afin de pouvoir prioriser les actions de réduction de rejets de PCB dans les milieux aquatiques. Cette démarche comprend en premier lieu l'élaboration des inventaires d'émissions dont les émissions liées à l'utilisation historique des PCB dans des applications ouvertes que sont les peintures et les joints d'étanchéité utilisés dans les bâtiments et cela, au vu d'études récentes montrant que ces sources non négligeables d'émissions diffuses au niveau de certains bâtiments représentent un danger potentiel sur le long terme pour l'environnement.

On notera également que l'ONEMA, dans son rapport, estime également nécessaire d'investiguer les émissions atmosphériques non intentionnelles de certains congénères de PCB résultant de la synthèse de pigments de couleur, de la combustion de bois, de l'incinération industrielle de déchets ménagers, des feux accidentels de décharge, de l'activité des usines d'élimination des véhicules hors d'usage, du recyclage non contrôlé de déchets électroniques.

○ Japon

En février 2012, le Ministère japonais de l'Economie, du Commerce et l'Industrie (METI) a lancé une initiative visant à identifier les pigments qui contiennent plus de 50 ppm de PCB, et qui dépasse ainsi la norme de sécurité établie par la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. Le ministère veut arrêter la fabrication et la vente de tels pigments. Cette action fait suite à un récent rapport d'une association japonaise (JDICA) dans lequel il a été mis en évidence des traces de PCB dans 57 des 98 pigments organiques testés. Cette présence de PCB serait involontaire et générée lors des procédés de fabrication de ces pigments (METI, 2012).

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

5.2 REDUCTION DES EMISSIONS EN STATIONS D'EPURATION

Blanchard *et al.* (2004) ont étudié l'évolution des concentrations en PCB le long de la filière de traitement des eaux et des boues sur l'usine d'épuration de Seine aval en décembre 1999, la capacité de traitement de la station étant de 2,6 millions m³/jour d'eaux usées. Le rendement de la filière « eau » (prétraitement, décanteur primaire, bassin d'aération - boues activées puis décanteur secondaire/clarificateur) a été évalué à 76 % pour les PCB. Les concentrations en PCB le long de la filière sont reportées dans le Tableau 18 ci-après.

Tableau 18. Concentrations en PCB le long d'une des filières de traitement des eaux de l'usine d'épuration de Seine aval (Blanchard *et al.*, 2004).

Points de prélèvements	Concentrations en $\Sigma 6\text{PCBi}$ (ng/L)
Sortie prétraitement	29,3
Sortie décanteur	14,7
Sortie bassin d'aération	9,3
Sortie STEP	6,8

Le décanteur primaire permet à lui-seul de réduire la concentration en PCB dans les eaux de moitié et en particulier en ce qui concerne les composés les plus chlorés. Les PCB, en tant que composés hydrophobes, sont préférentiellement absorbés sur la matière organique (donc sur les particules qui décantent dans le bassin), les PCB les plus lourds étant les plus hydrophobes.

5.3 PROCEDES DE DECONTAMINATION DE SITES POLLUES EN PCB

5.3.1 TECHNIQUES DE TRAITEMENT D'UN SITE POLLUE (SOLS, EAUX, GAZ)

Le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable, et de la Mer a mandaté le BRGM pour réaliser un guide de présentation des principales techniques de traitement d'un site pollué actuellement disponibles : « Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts-bénéfices » (Colombano *et al.*, 2010).

Les différentes techniques répertoriées dans ce guide et concernant les PCB sont présentées dans le Tableau 19 ci-après.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 19. Techniques de traitement d'un site pollué et s'appliquant aux PCB (Colombano *et al.*, 2010).

Technique		Principe	Efficacité	Cout
Techniques de dépollution in situ				
Méthode physique par évacuation de la pollution	Pompage et traitement	Le pompage et traitement consiste à extraire les eaux souterraines polluées et à les traiter sur site avant rejet (ou à les éliminer en centres agréés). Le type de traitement varie en fonction des polluants, des débits et des pourcentages épuratoires à atteindre.	50-60 %	4 à 60 €/m ³
Méthodes physiques par piégeage de la pollution	Confinement par couverture et étanchéification	Le confinement consiste à : isoler les contaminants de façon à prévenir d'une manière pérenne leur propagation, contrôler, c'est-à-dire s'assurer du maintien des mesures mises en place, suivre, c'est-à-dire s'assurer de l'efficacité de ces mesures. De telles mesures de confinement doivent être pérennes dans le temps et doivent être adaptées aux usages du site. Aussi, doit-on apporter des éléments démonstratifs tangibles sur les performances du confinement et sur leur pérennité dans le temps.	très efficace si bien conçu et bien mis en place	30 à 60 €/m ² de couverture
	Confinement vertical	Le but du confinement vertical est multiple : mise en place d'une barrière entre la source de pollution et les eaux souterraines/les eaux superficielles, renforcement de la stabilité mécanique du stockage.	> 95 %	75 et 400 €/m ²
	Confinement hydraulique	Ce confinement peut être réalisé de manière active (par pompage) ou de manière passive (via des tranchées drainantes).	jusqu'à 95 %	2 à 40 €/m ³ d'eaux pompées

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Technique		Principe	Efficacité	Coût
	Solidification/stabilisation in situ	Les procédés de solidification et de stabilisation ont pour but de piéger les polluants afin de réduire leur mobilité. La solidification consiste à lier physiquement ou à emprisonner les polluants au sein d'une masse stable, dure et inerte. La stabilisation consiste à transformer chimiquement un polluant lessivable en un composé peu ou non soluble ou/et à augmenter les capacités de sorption du polluant avec les matériaux par mélange avec différents adjuvants afin de les rendre moins mobilisables. Utilisation limitée pour les PCB	efficacité in situ plus faible que hors site Après traitement - diminution des concentrations : 95 %	50 et 160 €/t de sols traités
Méthodes chimiques	Lavage in situ	Ce procédé consiste à lessiver les sols sans excavation (zones saturée et non saturée) par injection d'eau (et d'agents mobilisateurs en solution) en amont ou au droit de la source de pollution. Par la suite, les eaux polluées sont pompées, traitées en surface puis rejetées dans les réseaux d'eaux usées/eaux pluviales, les eaux superficielles ou dans certains cas réinjectées dans la nappe.	50 à 80 %	20 à 120 €/t de sols traités
	Oxydation chimique in situ	L'oxydation chimique in situ consiste à injecter un oxydant dans les sols (zones saturée et non saturée) sans excavation. Cet oxydant va détruire totalement ou partiellement les polluants. Ce procédé permet donc d'aboutir à la destruction des polluants (aboutissant à la transformation en eau, gaz carbonique et sels) ou à la formation de sous-produits de dégradation généralement plus biodégradables. Concernant les PCB : Permanganate de potassium ou de sodium, ozone et persulfate peu efficaces. Il faut préférer le peroxyde d'hydrogène.	50 à 95 %	40 à 95 €/t de sols traités 30 et 115 €/m ³ d'eaux traités en place
Méthodes thermiques	Désorption thermique in situ	La désorption thermique in-situ, issue de l'amélioration de procédé de « venting », consiste à appliquer de la chaleur pour extraire du sol par volatilisation les polluants volatils et semi-volatils. Les composés volatilisés sont par la suite récupérés via un réseau d'extraction. En cours de développement en France	jusqu'à 95 %	70 et 155 €/t de sols traités

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Technique		Principe	Efficacité	Coût
	Vitrification in situ	Ce procédé consiste à solidifier/stabiliser les sols par élévation de la température afin de le transformer en un matériau fondu qui se vitrifie en se refroidissant. Méthode actuellement au stade de R & D très avancé	jusqu'à 95 %	Coûts d'immobilisation : 40 000 à 80 000 \$ Coût d'opération : 450 à 900 \$/m ³
Techniques de dépollution ex situ ou sur site				
Méthodes physiques par évacuation de la pollution	Tri granulométrique	Le tri granulométrique permet de séparer les différentes fractions des sols. Les fractions fines qui représentent les fractions les plus polluées sont ainsi isolées avant traitement	95 - 98 %	8 à 80 €/t de sols traités
	Lavage à l'eau	Le lavage à l'eau est un procédé couramment employé après le tri granulométrique. Les contaminants adsorbés sur les particules fines, préalablement séparées des particules grossières, sont transférés vers la phase aqueuse (ou la solution extractante). Cette solution polluée est par la suite traitée. Afin d'augmenter les transferts des polluants des particules fines vers les eaux, il est couramment fait usage d'ajouts d'agents chélatants, d'ajustement de pH, d'ajouts de surfactants (on parle alors d'extraction chimique).	de l'ordre de 95 %	sur site : 35 à 100 €/t de sols traités hors site : 75 à 220 €/t de sols traités
Méthodes physiques par piégeage de la pollution	Encapsulation on site et élimination en centres de stockage des déchets	Le procédé d'encapsulation consiste à enfermer physiquement sur site les sols par un dispositif de parois, couverture et fonds très peu perméables. Hors site, la mise en décharge consiste à diriger les terres polluées dans des centres de stockage des déchets en fonction de leur degré de pollution et de leur potentiel de lixiviation.	très efficace si bien conçu	15 à 130 €/t de sols

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Technique		Principe	Efficacité	Coût
	Solidification/stabilisation	<p>Les procédés de solidification et de stabilisation ont pour but de piéger les polluants afin de réduire leur mobilité. La solidification consiste à lier physiquement ou à emprisonner les polluants au sein d'une masse stable, dure et inerte. La stabilisation consiste à transformer chimiquement un polluant lessivable en un composé peu ou non soluble ou/et à augmenter les capacités de sorption du polluant avec les matériaux par mélange avec différents adjuvants afin de les rendre moins mobilisables.</p> <p>Utilisation limitée pour les PCB</p>	<p>efficacité ex situ ou on site plus importante que in situ</p> <p>Après traitement - diminution des concentrations jusqu'à 95 %</p>	<p>sur site : 25 et 120 €/t de sols traités</p> <p>hors site : 70 et 190 €/t de sols traités</p>
Méthodes chimiques	Mise en solution et extraction chimiques	<p>Cette technique est basée sur l'extraction des contaminants adsorbés sur les sols par des agents chimiques adaptés. On distingue deux techniques différentes : 1) extraction chimique qui a pour but de dissoudre les polluants métalliques dans l'eau, 2) extraction à l'aide de solvants plus spécifiquement adaptée aux polluants organiques. La filière de traitement est très proche du lavage à l'eau. Les étapes de traitement reposent donc sur un mélange intime entre la solution extractante et les sols homogénéisés puis une séparation de la solution extractante et des polluants.</p>	de l'ordre de 95 %	<p>entre 80 €/t et 285 €/t</p> <p>Peut atteindre 1 300 €/t de sols traités</p>
	Oxydation et réduction chimiques	<p>Les procédés d'oxydation/réduction permettent de transformer les polluants contenus dans les sols pollués excavés en polluants non toxiques (plus stables, moins mobiles ou inertes). Le procédé repose donc sur un mélange intime entre les oxydants/réducteurs et les sols homogénéisés.</p>	60 - 99 %	40 et 120 €/t de sols traités
Méthodes thermiques	Incineration	<p>L'incinération est une des techniques de traitement les plus anciennes. Son principe repose sur une combustion aérobie (en présence d'air) dans un four où les températures sont importantes (870 à 1 200 °C). Ces hautes températures détruisent les polluants ou les volatilisent.</p>	très élevés	<p>190 à 305 €/t voire jusqu'à 1050 €/t (polluants spécifiques)</p> <p>En cimenterie: 40 et 75 €/t.</p>

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Technique		Principe	Efficacité	Coût
	Désorption thermique	La désorption thermique consiste à appliquer de la chaleur pour extraire par volatilisation les polluants volatils et semi-volatils des sols excavés. La température utilisée est inférieure à celle nécessaire pour l'incinération	élevés	60 à 110 €/t (hors coûts de transport)
	Vitrification	La vitrification est le traitement thermique qui a pour but de solidifier/stabiliser les sols excavés par élévation de la température afin de les transformer en un matériau fondu qui se vitrifie en se refroidissant.	plus de 95 %	250 et 800 €/t de sols traités
	Pyrolyse ou thermolyse	La pyrolyse consiste à chauffer les sols en l'absence d'oxygène pour en extraire les polluants volatils et semi-volatils	supérieur à 90 %	75 à 150 €/t de sols traités
Méthodes biologiques	Bioréacteur	La technique consiste à mélanger les sols pollués avec de l'eau et divers additifs afin de former un mélange boueux et de mettre les particules de sols en suspension dans l'eau. Les boues sont traitées par voie biologique dans des bioréacteurs puis sont déshydratées.	peut atteindre 98-99%	50 et 120 €/t de sols traités
	Compostage	Le compostage consiste à mélanger des sols excavés avec des amendements organiques (dénommés compost) et à les disposer en tas trapézoïdaux (andains) régulièrement espacés afin de favoriser la biodégradation.	peut atteindre plus de 95%	15 et 40 €/t de sols traités
Techniques de rejets aqueux sur site				
Elimination des contaminants organiques dissous	Bioréacteurs (procédés intensifs)	Le principe repose sur la mise en contact des eaux polluées avec des microorganismes au sein de réacteurs afin d'assurer leur dépollution.	plus de 90 % parfois	0,50 €/m ³ pour des traitements aisés et de 3,6 €/m ³ pour des traitements difficiles

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Technique		Principe	Efficacité	Coût
Elimination des contaminants inorganiques dissous	Adsorption	Cette technologie de dépollution consiste à piéger les polluants par adsorption sur un matériau poreux.	de 95 à 98 % (pour des concentrations en entrée de l'ordre de 500 à 2000 ppm)	achat : 6 000 à 10 000 € pour des unités de traitement de 500 à 1 000 kg Coûts de remplacement du charbon actif : de 2 à 5 €/kg
Techniques de rejets atmosphériques on site				
Effluents gazeux	Condensation	Cette technique permet, par refroidissement des gaz, de condenser les polluants et de les séparer des effluents gazeux ainsi purifiés.	peut atteindre 80 à 99 %	entre 3 et 25 €/kg de polluants organiques éliminés

Remarques / définitions :

- Traitements hors site (ou ex-situ) : ils supposent l'excavation/extraction du milieu pollué (déchets, terre, eau) et son évacuation vers un centre de traitement adapté (incinérateur, centre d'enfouissement technique, etc.) ;
- Traitements sur site : ils consistent à excaver les terres ou les eaux ;
- Traitements in situ (ou en place) : ils correspondent à un traitement sans excavation : le sol et les eaux souterraines sont laissés en place. Il s'agit alors soit d'extraire le polluant seul, soit de le dégrader ou de le fixer dans le sol ;
- Confinement : il consiste à empêcher / limiter la migration des polluants. Cette technique n'est pas un traitement en tant que tel. Il consiste seulement à maintenir les eaux souterraines polluées dans un espace prédéfini afin de ne pas générer de pollution en aval ;
- L'élimination de particules atmosphériques est basée sur des procédés de filtration, d'électrofiltration et de cyclonage. Ils permettent donc d'éliminer les particules mais aussi les métaux lourds, les PCB, les HAP, les dioxines et les furannes, sachant que ces composés sont associés à des particules en suspension.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

5.3.2 CAS PARTICULIER - DECONTAMINATION DES SEDIMENTS

Le traitement des sédiments contaminés en PCB va généralement se dérouler de la manière suivante (Dargnat et Fisson, 2010):

- Etude préalable : définition des caractéristiques physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques des sédiments, évaluation de l'étendue de la zone contaminée et du volume de sédiments à draguer ;
- Choix de la filière ;
- Dragage des sédiments ;
- Prétraitement des sédiments ;
- Traitement des sédiments pollués en PCB.

5.3.2.1 LE DRAGAGE

L'extraction des sédiments doit être réalisée selon les caractéristiques de la zone de dragage afin de limiter au maximum les conséquences sur l'environnement (remise en suspension de particules, migration de polluants, augmentation de la turbidité...). Les méthodes de dragage sont soit mécaniques, soit hydrauliques. Selon LIFE (2002), il existe 4 grandes méthodes de dragage :

- Dragage en eau (remise en suspension des sédiments et dispersion par injection d'eau sous pression (ou d'air comprimé) dans le sol) ;
- Dragage hydraulique (aspiration des sédiments à l'aide de pompes centrifuges) ;
- Dragage mécanique (utilisation de bennes ou godets montés sur un ponton, pour extraire directement les sédiments) ;
- Dragage pneumatique (même fonctionnement que le dragage hydraulique mais l'aspiration est réalisée par des pompes à air comprimé).

Suite au processus de dragage, les sédiments extraits peuvent soit être mis en dépôt, soit être déshydratés.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

5.3.2.2 LE PRETRAITEMENT DES SEDIMENTS

L'étape de prétraitement a pour but de réduire le volume de sédiments à traiter, d'accélérer la sédimentation, de diminuer la teneur en eau, de trier les matériaux en fonction des types de traitements envisagés et de séparer ceux qui peuvent être valorisés (les contaminants étant le plus adsorbés sur les particules fines, les particules grossières pourront alors être réutilisées) (Darnat et Fisson, 2010).

Les méthodes employées sont des méthodes de séparation (bassin de séparation, coagulation / floculation, criblage, hydrocyclone, lit fluidisé, séparateur magnétique ou électrostatique et électrodynamique, vis) et de déshydratation (consolidation sous vide, bassin de décantation, centrifugeuse, évaporateur, filtre presse et filtre bande) (LIFE, 2002).

5.3.2.3 LE TRAITEMENT DES SEDIMENTS

L'ensemble des techniques de traitement ont pour objectifs d'extraire, détruire ou d'immobiliser les PCB présents. Il existe 4 grandes techniques de traitement, comme nous l'avons vu précédemment :

- les traitements chimiques ;
- les traitements physiques ;
- les traitements thermiques ;
- les traitements biologiques.

Darnat et Fisson (2010) et Brunet (2007) détaillent les différentes techniques selon le type de traitement. Ces auteurs ont synthétisées les techniques existantes pour l'extraction et / ou la destruction des PCB dans le Tableau 20 ci-après.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Tableau 20. Synthèse des techniques existantes pour l'extraction et / ou la destruction des PCB issus des sédiments (Dargnat et Fisson, 2010).

Technique	Type de traitement	Processus mis en œuvre	Extraction	Destruction
Extraction par charbon actif	Chimique	Filtration sur charbon actif des eaux d'imprégnation	X	
Extraction par solvant	Chimique	Isolation des polluants sous forme liquide par extraction à l'aide de solvants spécifiques, d'agents tensio-actifs ou des gaz liquéfiés	X	
Déchloration ou déhalogénéation	Chimique	Substitution d'au moins un atome de chlore à la molécule de PCB		X
Oxydation/Réduction	Chimique	Oxydation / réduction des PCB par ajout d'agents oxydants / réducteurs	X	
Flottation	Chimique	Utilise le principe des différences de densité et d'hydrophobie des particules. Extraction à l'aide d'agents chimiques	X	
Immobilisation par liants	Physique	Immobilisation des PCB dans la matrice en place par ajout de liants		
Vitrification	Physique	Stabilisation du sol contaminé puis destruction par pyrolyse des PCB		X
Confinement	Physique	Isolation des sédiments pollués sur site, in-situ ou hors site		
Extraction ou désorption	Thermique	Extraction des polluants par chauffage	X	
Incinération ; arc à plasma ; pyrolyse ; réacteur à haute température ; oxydation humide ; lit fluidisé	Thermique	Destruction des polluants par chauffage		X

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

Technique	Type de traitement	Processus mis en œuvre	Extraction	Destruction
Biodégradation	Biologique	Biodégradation optimisée des PCB dans un réacteur par ajout de bactérie et contrôle des paramètres physico-chimiques		X
Land-farming	Biologique	Biodégradation des PCB		X

Brunet (2007), par interrogation de la banque de données ASTRES²⁶, a mis en évidence neuf techniques physiques, thermiques, chimiques ou biologiques permettant de traiter les PCB dans les sédiments in-situ, sur site ou hors site. Un tableau de synthèse est présenté ci-après (cf. Tableau 21 ci-après).

Tableau 21. Techniques disponibles pour le traitement des sédiments (Brunet, 2007).

Technique	Type de traitement	Coût (Euro/tonne)	Applicabilité In-situ	Applicabilité sur site	Applicabilité hors site
Confinement	Physique	30-50	X	X	X
Stabilisation /solidification	Physique	25-185	X	X	X
Incinération	Thermique	280-1100		X	X
Désorption thermique	Thermique	40-150		X	X
Extraction par solvant	Chimique	80-1220	X	X	X
Oxydo-réduction	Chimique	10-100	X	X	X
Déhalogénéation / Déchloration	Chimique	>150		X	X
Biodégradation en réacteur	Biologique	50- 100	X	X	X
Land-farming	Biologique	60-200		X	X

²⁶ Le Pôle de Compétences Sites et Sédiments Pollués et le Centre National de Recherche sur les Sites et Sols Pollués a développé une banque de données appelée ASTRES qui recense les technologies de dépollution des sols, des sédiments et des eaux de nappes, disponibles en France.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

6 CONCLUSION

Les PCB sont des produits organiques de synthèse aromatiques et chlorés. Ces composés ont été produits en masse à partir des années 1930 pour être utilisés principalement comme isolants dans les équipements électriques mais aussi comme solvants, plastifiants et additifs de fluides hydrauliques ou caloporteurs.

Ces composés ont vu leur utilisation progressivement restreinte puis stoppée en raison de leur nocivité (en France, interdiction de production et d'utilisation depuis 1987). Néanmoins, ces polluants organiques persistants sont encore très présents dans l'environnement (tous milieux confondus avec une présence notable dans les sédiments) et peuvent être transportés sur de grandes distances dans l'environnement (présence en arctique par exemple).

Les émissions actuelles de PCB sont diffuses et d'origine anthropique. Ces sources résultent essentiellement de l'usage des derniers appareils contenant encore des PCB (vieux transformateurs susceptibles de fuir, d'exploser ou de brûler), des peintures anciennes, des sites de traitements de matériels contenant des PCB, des zones polluées aux PCB ainsi que des actes de négligence et de vandalisme sur des appareils obsolètes contenant des PCB.

Il existe de nombreuses techniques de remédiation des sites pollués en PCB ainsi que des techniques de décontamination des appareils contenant des PCB. Les techniques de remédiation emploient différents processus (mécaniques, chimiques, thermiques, biologiques) dont certains sont encore à l'étude. Cependant, des difficultés d'application sur le terrain sont rencontrées telles que l'extraction des matériaux, les volumes à traiter, les niveaux de contamination, les caractéristiques du substrat, le coût,... étant autant de facteurs potentiellement limitants.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

7 LISTE DES ABREVIATIONS

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ARIA (base de données)	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BASOL	Base de données des sites faisant l'objet d'une action de la part des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif
BDRep	Base de données du registre des émissions polluantes
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CITEPA	Centre Interprofessionnel Techniques d'Etudes de la pollution atmosphérique
CLP	Classification, abbeling, Packaging
Commission OSPAR	Commission Oslo-Paris
DCE	Directive Cadre Eau
EEA	European Environment Agency
EMEP	European Monitoring and Evaluation Program
EPER	European Pollutant Emission Register (E-PRTR)
HSDB	Hazardous Substances Data Bank
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
IREF	Registre français des Emissions Polluantes
LIFE	Financial Instrument for the Environment
NQE	Norme de Qualité Environnementale
OECD ou OCDE	Organization for Economic Co-operation and Development
ORS	Observatoire Régional de la Santé
PCB	Polychlorobiphényles
PCT	Polychloroterphényles
PIREN	Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement de la Seine

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
POP	Polluant Organique Persistant
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances REACH est le règlement sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques. Il est entré en vigueur le 1er juin 2007. REACH rationalise et améliore l'ancien cadre
RSDE	Action Nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux
SGH	Système Général Harmonisé Afin d'unifier les différents systèmes nationaux de classification et étiquetages des produits chimiques dangereux, le Système Général Harmonisé ou SGH (Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals ou GHS) a été créé. Il est rentré en vigueur en France (et dans tout les pays de l'Union Européenne) le 20 janvier 2009.
STEP	STation d'EPuration
WHO ou OMS	Organisation Mondiale de la Santé

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

8 BIBLIOGRAPHIE

- Abbes, K., L. Bizzozero, et al. (2010). Les polychlorobiphényles. Un problème nouveau pour une pollution ancienne. Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique.
- ADEME-SOGREAH (2007). Bilan des flux de contaminants entrant sur les sols agricoles de France métropolitaines.
- ADEME. (2011). "A chaque déchet des solutions - Appareils contenant des PCB et PCT." Retrieved avril, 2011, from <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=14520#>.
- Agence de l'eau Seine-Normandie (2009). "Guide des substances toxiques."
- Amann, M., J. Angelbratt, et al. (2011). Global scale modelling within EMEP: Progress report. EMEP/MS-CHEM Technical report 1/2011. O. Travnikov and J. E. Jonson (Eds.).
- ATSDR (2000). Toxicological Profile for Polychlorinated biphenyls (PCBs). U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- BARPI. (2011). "Consultation de la base de données ARIA." Retrieved novembre, 2011, from http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/recherche_accident.jsp.
- BASOL. (2011). "Base de données BASOL sur les sites et sols pollués (ou potentiellement pollués) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif", from <http://basol.ecologie.gouv.fr/resultat.php>.
- Bazzanti, M., S. Chiavarini, et al. (1997). "Distribution of PCB congeners in aquatic ecosystems: A case study." Environment International 23(6): 799-813.
- Berdowski, J. J. M., J. Baas, et al. (1997). The European Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants for 1990. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation.
- Blanchard, M., M. J. Teil, et al. (2007). "Persistent toxic substance inputs to the river Seine basin (France) via atmospheric deposition and urban sludge application." Science of The Total Environment 375(1-3): 232-243.
- Blanchard, M., M. J. Teil, et al. (2004). "Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorobiphenyls in wastewaters and sewage sludges from the Paris area (France)." Environmental Research 95(2): 184-197.
- Breivik, K., A. Sweetman, et al. (2002). "Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners - a mass balance approach: 2. Emissions." Science of The Total Environment 290(1-3): 199-224.
- BRGM (2003). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines SEQ - Eaux Souterraines. Version 0.1. Août 2003, Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
- Brunet, J. (2007). Etat des lieux sur la pollution des fleuves par les PCB dans le monde. Actions des pouvoirs publics. Exemples de décontamination. BRGM.
- CGDD (2011). Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux, période 2007-2009. Commissariat général au développement durable - Études & documents n° 54 - octobre 2011,.
- CITEPA (2011). Emissions dans l'air en France - Substances relatives à la contamination par les polluants organiques persistants. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique.
- Colombano, S., A. Saada, et al. (2010). Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts-bénéfices. BRGM/RP - 58609 - FR.
- Comité de suivi du plan d'actions PCB. (2010). "Bilan du Plan national de décontamination et d'élimination des appareils contenant des PCB/PCT." 2011, from <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Documents-lies.html>.
- Commission Européenne. (2006a, Août 2006). "BREF- Incinération des déchets." from <http://www.ineris.fr/ipcc/node/10>.
- Commission Européenne. (2006b, Août 2006). "BREF- Traitement des déchets." from <http://www.ineris.fr/ipcc/node/10>.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- Commission Européenne. (2009). "CLP/SGH - Classification, étiquetage et emballage des substances et mélanges." Entreprises et Industrie, Produits chimiques.
- Cravedi, J.-P. and J.-F. Narbonne (2002). Données récentes sur l'évaluation des dangers liés à la présence de PCB dans l'alimentation. AFSSA.
- Dargnat, C. and C. Fisson (2010). Les PolyChloroBiphényles (PCB) dans le bassin de la Seine et son estuaire. Groupement d'Interêt Public Seine aval.
- E-PRTR (2011). "The European Pollutant Release and Transfer Register,."
- European Environment Agency (2007). Part B: General methodology chapters - Sources of PCB emissions. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2007. EEA Technical report No 16/2007.
- European Environment Agency (2009). 2F-Consumption of persistent organic pollutants and heavy metals. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2009. EEA Technical report No 9/2009.
- European Environment Agency (2011). Hazardous substances in Europe's fresh and marine waters - An overview. EEA Technical report No 8/2011.
- Garban, B., D. Ollivon, et al. (2002). Activités humaines et transferts de polluants organiques persistants (POP). Rapport de synthèse Seine-Aval 1998-2001.
- Gervason (1987). "PCB : leurs propriétés et leurs applications dans l'électronique." Rev. Gén. Electricité **8**: 5-11.
- Harrad, S. and H. Mao (2004). "Atmospheric PCBs and organochlorine pesticides in Birmingham, UK: concentrations, sources, temporal and seasonal trends." Atmospheric Environment **38**(10): 1437-1445.
- HSDB. (2011). "Polychlorinated biphenyls." Hazardous Substances Data Bank Retrieved octobre, 2011, from <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~PL1xbs:1>.
- INERIS. (2005). "Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Polychlorobiphényles." from <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/1539>.
- INERIS (2008). Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets industriels et urbains.
- INERIS (2010a). Qualité chimique des sédiments fluviaux en France - Synthèse des bases de données disponibles.
- INERIS (2010b). Qualité chimique des sédiments marins en France - Synthèse des bases de données disponibles.
- INERIS (2011). base BDREP (Registre Français des Emissions polluantes) -PCB.
- INRS. (2007). "Biphényles chlorés- FT 194." Fiche Toxicologique ft194.
- INRS. (2008). "Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France." ED 984 - Aide Mémoire Technique, from [http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/ED%20984/\\$File/ed984.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/ED%20984/$File/ed984.pdf).
- Jartun, M., R. T. Ottesen, et al. (2009). "Painted surfaces - Important sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination to the urban and marine environment." Environmental Pollution **157**(1): 295-302.
- Lachambre, M. and C. Fisson (2007). La contamination chimique : quel risque en estuaire de Seine ? Fiche substance : Polychlorobiphényles (PCB) - CB28, CB52, CB101, CB118, CB138, CB153, CB180. GIP-Seine aval.
- LIFE. (2002). "Méthodes de gestion et de réutilisation des sédiments pollués. Inventaire détaillé technique et financier des méthodes de curage, de traitement et des usages possibles. Logiciel d'aide à la décision pour la gestion des sédiments." from <http://www.eau-artois-picardie.fr/IMG/BaseDoc/aegis/727/CD%2016939.pdf>.
- Mackay, D., W. Y. Shiu, et al. (1992). Illustrated handbook of physical - chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Volume I : monoaromatic hydrocarbons, chlorobenzenes and polychlorinated biphenyls., Lewis Publishers.
- Mari, M., M. Nadal, et al. (2008). "Monitoring PCDD/Fs, PCBs and metals in the ambient air of an industrial area of Catalonia, Spain." Chemosphere **73**(6): 990-998.
- METI. (2012). "Organic Pigments That Can Unintentionally Contain Polychlorinated Biphenyl." Ministry of Economy, Trade and Industry. Retrieved février, 2012, from http://www.meti.go.jp/english/press/2012/0210_04.html.

LES POLYCHLOROBIPHENYLES - PCB

- Meunier, P. (2008). Rapport d'information sur le Rhône et les PCB : une pollution au long cours, Assemblée Nationale. n°998.
- Mhiri, C. and N. Tandeau de Marsac (1997). "Réhabilitation par les microorganismes de sites contenant du pyralène: problématique et perspectives d'étude." Bulletin de l'Institut Pasteur 95(1): 3-28.
- Motelay-Massei, A., B. Garban, et al. (2002). Rôle du compartiment atmosphérique dans l'apport aux écosystèmes en substances toxiques persistantes. Rapport Seine-Aval 2001.
- Moza, P., I. Weisgerber, et al. (1976). "Fate of 2,2'-dichlorobiphenyl-14C in carrots, sugar beets, and soil under Outdoor conditions." Journal of Agricultural and Food Chemistry 24(4): 881-885.
- Nations Unies -PNUE (2001). Manuel de formation visant la préparation d'un Plan National pour la Gestion ... projet pilote pour la gestion écologiquement rationnelle des PCBs et des équipement contaminés aux PCs dans le cadre de la mise en oeuvre de la convention de Bâle 2001.
- OFEV. (2012). "PCB " Office fédéral de l'environnement - Confédération Suisse Retrieved janvier, 2012, from <http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01395/index.html?lang=fr>.
- Ogura, I., W. Naito, et al. (2008). Risk Assessment Document for Coplanar-PCBs. AIST Risk Assessment Document Series No.16.
- ONEMA (2011). Pollution des milieux aquatiques par les polychlorobiphényles (PCB) en France : principaux enjeux de gestion et lacunes identifiées dans les connaissances environnementales.
- ORS - Rhône-Alpes. (2008). "Les PCB (Polychlorobiphényles)." Observatoire Régional de la Santé, from <http://www.ors-rhone-alpes.org/environnement/pdf/dossier2.pdf>.
- Pellet, M., P. Baranger, et al. (1993). Contamination du milieu naturel par les polychlorobiphényles (PCB) : connaissance du polluant et techniques de dépollution. BRGM.
- PIREN Seine (2009). La micropollution organique dans le bassin de la Seine. Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement de la Seine.
- Rossi, L., L. de Alencastro, et al. (2004). "Urban stormwater contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) and its importance for urban water systems in Switzerland." Science of The Total Environment 322(1&2): 179-189.
- Shatalov, V., K. Breivik, et al. (2004). Chapter 8 - Persistent Organic Pollutants. EMEP Assessment - Part 1- European Perspective.
- Teil, M., M. Blanchard, et al. (2000). Origine et qualité des apports en Polluants Organiques Persistants : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques et Polychlorobiphényles, de temps sec et de temps de pluie, à la station d'épuration Seine-Aval. PIREN-Seine.
- Tiedje, J. M., J. F. Quensen, et al. (1993). "Microbial reductive dechlorination of PCBs." Biodegradation 4(4): 231-240.
- UNEP (1998). L'inventaire des capacités mondiales de destruction des PCB. Programme des Nations Unies sur l'Environnement.
- UNEP (2002). Les transformateurs et condensateurs contaminés par les PCB ; de la gestion au reclassement et à l'élimination. Programme des Nations Unies sur l'Environnement.
- WHO (2000). WHO air quality guidelines for Europe. W. H. Organization.
- WHO (2008). Guidelines for Drinking-water Quality. W. H. Organization.